

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

34727

**YER-UYDU HABERLEŞMESİ
YAĞMUR NEDENİYLE OLUŞAN
E.M. ZAYIFLATMASININ İSTATİSTİKSEL
YÖNTEMLERLE MODELLENMESİ**

Elektronik ve Hab.Müh. Kamil DİMİLİLER

**F.B.E. Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalında
hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Filiz GÜNEŞ

İSTANBUL, 1994

İÇİNDEKİLER

ÖZET	v
ABSTRACT	vi
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
1.1 YER-UYDU SİSTEMİ	2
1.1.1 Frekans Bandları.....	3
1.1.2 Atmosferin Etkileri.....	4
1.2 LİNK ANALİZİ	6
1.2.1 Taşıyıcı-Gürültü Oranı.....	7
1.2.2 Link Yeterliliği	8
BÖLÜM 2. ZAYIFLATMANIN MODELENMESİ.....	9
2.1 KESTİRİM MODELLERİ.....	9
2.2 LEITAO-WATSON MODELİ	11
2.2.1 Genel Yaklaşım	11
2.2.2 Zayıflatma Dönüşüm Faktörü	13
2.2.3 Efektif Yağmur Yüksekliği	16
2.2.4 Model Parametreleri	17
BÖLÜM 3 YAĞMUR VERİ TABANININ OLUŞTURULMASI.....	18
3.1 YAĞIŞ DAĞILIM EĞRİLERİ	21
3.1.1 Logaritmik Normal Dağılım	21
3.1.2 Ekstrem Değerler İstatistiği	22
3.1.3 Dağılım Parametrelerinin Hesaplanması	28
3.2 BİRİKİM SÜRESİ DÖNÜŞÜMÜ.....	30
3.2.1 FSR Yöntemi.....	30
3.2.2 CR Oranları	32
BÖLÜM 4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER	33
KAYNAKLAR.....	34
EKLER.....	37
ÖZGEÇMİŞ	

Bu tez çalışması boyunca her türlü teşvik, destek ve katkılarından dolayı öncelikle değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Filiz GÜNEŞ ile Sayın Prof. Dr. Macit GÜNEŞ'e; bölümdeki diğer öğretim üyelerine ve çalışma arkadaşlarıma; her türlü özveriyle bugünlere gelmemi sağlayan aileme teşekkür ederim.

ÖZET

Bir haberleşme sisteminden beklenen, haberleşme kalitesinin en kötü koşulda bile belirli bir seviyeden düşük olmamasıdır. Bu nedenle haberleşmenin kesintiye uğramasına neden olabilecek tüm faktörler dikkate alınarak tasarım yapılmalıdır.

Mikrodalga frekanslarında elektromagnetik dalganın zayıflamasına yol açabilecek en önemli nedenlerden biri yağışlardır. Yağmur zayıflatması, yer-uydu bağlantısının kopmasına neden olacak bir seviyeye kadar artabilir. Bunu önlemenin yolu, sistemin özelliklerini belirlerken zayıflatma verilerini de tasarım parametresi olarak kullanmaktır.

Yağmur nedeniyle oluşan zayıflatmanın olasılık dağılım eğrileri tasarım sırasında kullanılmalıdır. Olasılık dağılım eğrilerini elde etmenin ilk akla gelen yöntemi ölçümlerle (en az beş yıllık) elde edilmiş verileri kullanmaktır. Ancak, bu türlü verilerin bulunmadığı, özellikle uydu sistemlerinin yeni kurulacağı durumlarda alternatif yöntemler geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla kullanılacak metodun, yerel özellikleri, yer-uydu yolu geometrisini ile işaretin frekans ve polarizasyonunu dikkate almalıdır.

Bu çalışmada meteorolojik ölçümlerden elde edilen yağış verilerini kullanarak, zayıflatmanın kestirilmesi yöntemleri incelenecektir. Genel olarak bütün kestirim yöntemlerinde 1-5 dakika birikim (integrasyon) süreli yağış verisine gereksinim duyulur. Ancak Türkiye için bu kadar kısa birikim süreli düzenli ölçümler mevcut değildir. Ancak 24 saat birikim süreli ölçümler, T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden Türkiye'de 214 ölçüm istasyonundan 30-60 yıl süreyle ölçülmüş yağmur verileri sağlanmıştır.

Tezin ilk bölümünde yer-uydu bağlantısı ve yağmur zayıflatmasının alıcıya ulaşan işaret gücüne etkisi incelenmiştir. İkinci bölümde, yağmur verilerine dayanarak zayıflatmanın kestirilmesi için kullanılan Leitao-Watson Modeli anlatılmıştır. Üçüncü bölümde ise 24 saat birikim süreli verilerden 1 dakikalık verilerin elde edilme yöntemi açıklanmıştır. Sonuçta elde edilen sonuçlar Eklerde verilmiştir.

ABSTRACT

One of the desired properties of a satellite communication system is the high operational availability during the life of the system.

Rain is one of the important causes of atmospheric loss in the microwave frequencies (above 10 GHz). When the rain intensity increases, the system may be driven to a point where the communication link fails. For this reason radio attenuation data is expected to be one of the most important data for determining the characteristics of the system.

For such a system annual statistical behavior of the attenuation must be obtained for every location where a communication link is planned. If possible the radio attenuation data collected over a period of minimum 5 years should be used. In cases such measurements are not available, meteorological data should be preprocessed in order to predict the attenuation. A method used for this purpose should take into account polarization and frequency of the signal, path geometry and location characteristics of station.

In this thesis, a methodology to predict the attenuation based on meteorological data will be presented. All prediction methods needs meteorological data with 1-5 min integration time. But, we gathered the meteorological data with 24 hour integration time for about 214 sites in TÜRKIYE with the for a time span of 30-60 years.

Satellite link and the effects of rain attenuation on link will be explained in the first section. In the second section, Leita-Watson model will be presented. And the methodology of producing 1 minute rain data based from the data which has 24 hour integration time will be presented in the third section.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Haberleşmenin gittikçe daha fazla önem ve etkinlik kazandığı çağımızda uydu aracılığıyla haberleşme modern teknik olanakların en hızlı uygulandığı alanlardan biridir. Sağladığı olanaklar sayesinde uydular, yalnız bilgi iletiminde değil, daha pek çok konuda insanların vazgeçilemez araçları haline gelmişlerdir.

Artan ihtiyaçlar nedeniyle artan kapasiteyi artırmak, kullanımı yaygınlaştırmak için yeni yöntemler sürekli gündeme geliyor. Kanal kapasitesini artırmak için düşünülen yöntemlerin başında daha yüksek taşıyıcı frekanslarının kullanılmasıdır. İlk haberleşme uyduları S bandını kullanmışlardı. S bandı uyduların artmasıyla yetersiz kaldığından, daha yeni haberleşme uyduları Ku bandında çalışmaktadır. Geleceğe yönelik olarak ise, Ka bandının kullanımı için yoğun araştırmalar sürdürülmektedir. Çünkü frekansın artması kapasiteyi artırmakla birlikte, gönderilen işaret daha fazla bozulmaya uğramaktadır. Yüksek frekanslarda elektromagnetik dalganın daha fazla değişikliğe uğraması nedeniyle, daha kaliteli dolayısıyla daha pahalı alıcı sistemlerine gereksinim duyulur. İşaretin daha fazla bozulmasının nedeni dalga boyunun atmosferdeki partiküller boyutuna yaklaşmasıdır. İşaretle bozulma başlıca iki çeşit mekanizma ile gerçekleşir: (1) Soğurulan Elektromagnetik enerji ısıya dönüşür. (2) Kırılma ve saçılmalar nedeniyle elektromagnetik dalganın polarizasyonu bozulur. Bu ikinci etki, hem alınan işaret seviyesinin düşmesine; hem de özellikle ortogonal polarizasyonlu işaretlerin birbirine karışmasına yol açar (Maral et al, 1993).

10-100 GHz frekans bölgesinde, işaret zayıflatması serbest uzay kaybı dışında çoğunlukla yağmur nedeniyle (Lin, 1973), Yağmur zayıflatması yerden yere ve aynı yerde yıldan yıla değişiklik gösterir. ESA ve OTS uydu programı deneysel çalışmalarından, yerden yere değişebilirlik faktörü bir yana bırakılırsa, sadece bir yerde radyo zayıflatmasının karakterize edilebilmesi için en az beş yıl (tercihen 10 yıl) radyo verisi gerektiği sonucu çıkmıştır. Radyo verisi toplama işlemleri, Avrupa ve ABD için son 10 yılda organize edilmiştir. Türkiye için ancak, TÜRK SAT'ın fırlatılmasından sonra başlayabilir. Buna rağmen, uydu haberleşme sistem tasarımcılarının başvurabilecekleri "bölgesel ya da bütün zayıflatma harita" kaynak ihtiyacı, mevcut meteorolojik yağmur verisinin, seyrek radyo zayıflatma verisiyle birleştirilmiş şekilde kullanılmasıyla karşılanabilir. 10-30 GHz frekans bölgesinde radyo dalga zayıflatma istatistiğinin, şiddetli yağmur istatistiği ile gayet iyi bir korelasyona sahip olması böyle bir prosedürü mümkün kılmaktadır. (Lin, 1973, Fedi, 1979).

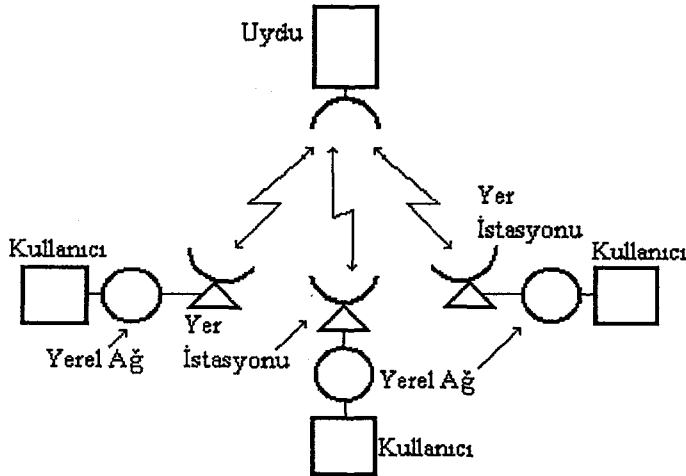
Genel olarak yağmur zayıflatması kestirimi istatistiksel işlemleri iki ana grupta toplanabilir (Crane, 1980, Leitao, 1985):

- 1) Eldeki yağış verilerinden zayıflatma kestirimi için gerekli 1 dakikalık integrasyon süreli veri tabanı oluşturma işlemleri .
- 2) 1 Dakikalık birikim süreli veri tabanından zayıflatma verisinin kestirimi işlemleri.

TÜRKSAT'ın uzaya gönderilme çalışmaları sürdürülmektedir. Uydu atıldıktan sonra, zayıflatma verileri sistem tasarımcıları tarafından bilinmesi oldukça önemlidir. Bu tez çalışmasında, yağmur nedeniyle oluşan zayıflatmanın kestirimi için, Leitao-Watson Modeli Türkiye'ye uygulanışı Bölüm II'de; T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilen yağmur verilerinden yararlanılarak yağmur veri tabanı oluşturma işlemleri Bölüm III'de anlatılmıştır. Bu bölümde yer-uydu haberleşme sistemi kısaca tanıtılacak ve yer-uydu bağlantısı (Link) incelenecektir.

1.1 YER-UYDU SİSTEMİ

Yer-uydu sistemi, bir uydu ile bununla haberleşen yer istasyonlarından oluşur. Genellikle yer istasyonu aynı zamanda bir yeryüzü haberleşme ağının da parçasıdır. Uydu haberleşme sistemi, uydu ile yerdeki kullanıcı arasındaki iletişimi sağlar. (Şekil 1.1)



Şekil 1.1 Uydu haberleşme sistemi

Haberleşmenin sağlanması için yerden uyduya bilgi taşıyan yukarı link (Uplink) ile uydudan yere bilgi taşıyan aşağı link (Downlink) bulunur. Link analiz edilirken aşağı ve yukarı linkler ayrı ayrı incelenir. Daha sonra iki sonuç birleştirilerek toplam link performansı belirlenir.

Kapasiteyi artırmak için en fazla kullanılan yöntemlerden birisi aynı frekanslı ortogonal iki işaretin aynı anda iletilmesidir. Bir polarizasyon için tasarlanmış bir anten, ortogonal polarizasyon işaretlerini alamaz ve veremez. Bu özellik sayesinde aynı iki nokta arasında, aynı frekansta iki eşzamanlı iki farklı bağlantı (link) olanaklıdır (Maral,1993).

1.1.1 Frekans Bandları

Haberleşmenin, bilim ve tekniğin sağladığı olanaklar ve insan gereksinimlerine bağlı olarak her geçen gün biraz daha yoğunlaşması frekans paylaşımı sorununu doğurmuştur. Özellikle boşluğun iletim ortamı olarak kullanıldığı durumlarda başka işaretlerle karışma olmaması için frekans bölgesinin tek verici tarafından kullanılması oldukça önemlidir. Bu konu uluslararası ve ulusal kurallarla düzenlenmektedir. Elektromagnetik frekans spektrumu bölgelere ayrılmış, her bölge de alt bölgelere ayrılarak belirli kullanım amaçlarına tahsis edilmiştir.

Uydu haberleşmesinde spektrumun SHF(Super High frequency) ile EHF(Extremely High frequency) bandları kullanılır. Uydu haberleşmesinde kullanılan 1-300 GHz frekans bölgesi alt bölgelere ayrılmıştır. (Tablo 1.1).

Tablo 1.1 Uydu Frekans Spektrumu

Frekans Bandı	Bölge (GHz)
L	1-2
S	2-4
C	4-8
X	8-12
Ku	12-18
K	18-27
Ka	27-40
Milimetre	40-300

Frekans spektrumunun paylaşımı, BM'nin bir kuruluşu olan ITU (International Telecommunication Union) tarafından düzenlenmektedir. EK1'de ITU hakkında daha ayrıntılı bilgiler verilmiştir.

Günümüzde ticari haberleşme uydularının çoğunluğu 6/4 GHz veya 14/12 GHz bandlarını kullanır. 6/4 GHz bandı 5.725-7.075 GHz aralığında bir yukarı link ve 3.4 - 4.8 GHz aralığında bir aşağı linkten oluşur. Ancak uydu haberleşmesinin yaygınlaşması nedeniyle, 6/4 GHz bandının yoğunluğunun artması daha yüksek frekanslı 14/12 GHz bandının kullanımını zorunlu kılmıştır. Ayrıca, 18.1-21.2 GHz'lik aşağı link ile 27.5-31 GHz'lik yukarı linkten oluşan 30/20 GHz bandının kullanımı henüz deneme aşamasındadır. Şu anda ticari amaçlı haberleşme için oldukça pahalı olmasına karşın gelecekte kullanılabileceği düşünülmektedir (Ha,1990).

1.1.2 Atmosferin Etkileri

Gönderilen anaband işaretinin hiç değişikliğe uğramadan iletim ortamından geçmesi olanaksızdır. İşaretin iletim ortamından geçerken oluşacak değişikliğin şekli ve miktarı pek çok etmene bağlıdır. Yer-uydu yolundaki işaretin en fazla değişikliğe uğradığı yer atmosferdir. Atmosferin özellikleri pek çok etken (mevsim, zaman, konum vb...) ile değişir. Ayrıca atmosferin yapısı homojen olmadığından her katmanda işaretin etkilenmesi farklı olacaktır. Tablo 1.2'de atmosferin yer-uydu işaretine önemli etkileri özetlenmiştir. İşaretin polarizasyonu, frekansı, elevasyon açısı, ortamın sıcaklığı, nem oranı, yağış olup olmayışı ve tipi, ortamda yayılan diğer işaretlerin özellikleri işaretin atmosferden geçerken, karşılaşacağı etkileri belirler.

Özellikle 10 GHz'in üzerindeki frekanslarda en önemli zayıflatma nedeni yağışlardır. Sıvı su damlaları, frekans arttıkça elektromagnetik dalgayı gittikçe daha fazla soğurur. Yine frekans arttıkça sıvı su damlalarının işaretin polarizasyonunu bozma miktarı da artar. Öyle ki S ve Ku bandlarında, yağmurun ortogonal iki işaretin polarizasyonlarını bozarak karışmalarına yol açma olasılığı çok düşükken daha yüksek frekanslarda bunun, sistem tasarımcıları için önemli bir problem olacağı söylenebilir (Ha, 1990).

Atmosfer olayları, kesin sayısal değerlerle öngörülemezler. Ancak, atmosfer olaylarının olasılığından sözedilebilir. Haberleşme sistem tasarımcısı açısından, önemli olan haberleşmeyi kesintiye uğratabilecek zayıflatma miktarının olasılığıdır. Diğer bir deyişle, belirli bir değerin aşılma olasılığı ile

ilgilenilmelidir. Elektromagnetik dalga propagasyonu ile ilgili çalışmalarda, sözkonusu atmosfer olayının olasılık dağılım fonksiyonları ile ilgilenilir.

Tablo 1.2 Yer-uydu haberleşme sistemlerinde propagasyonla ilgili sınırlamalar.
(Brussaard et al 1990).

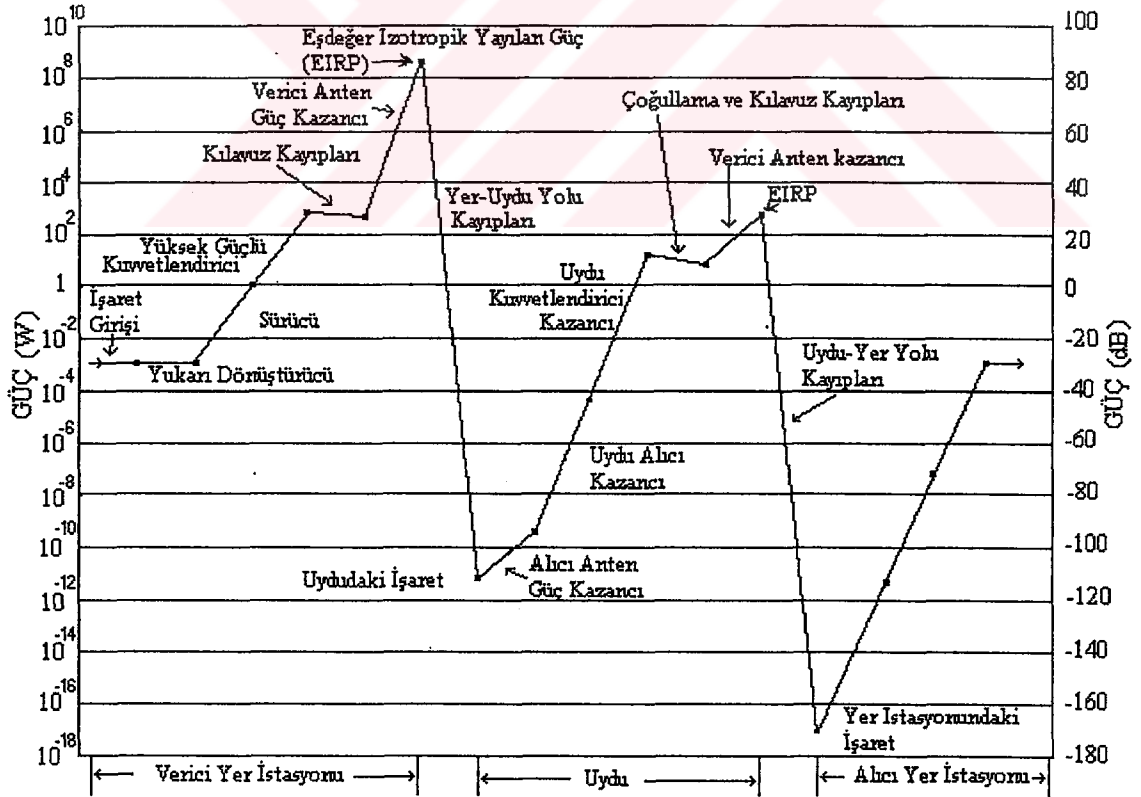
Propagasyona etkisi	Fiziksel Neden	Önemli Olduğu Yerler
Zayıflatma ve boşluk gürültüsü	Atmosferik gazlar, Bulut, Yağmur	10 GHz'in üzerindeki frekanslarda
Polarizasyon Bozulması (depolarizasyon)	Yağmur, Buz Kristalleri	C ve Ku bandlarında çift-polarizasyonlu(dualpolarization) sistemlerde
Atmosfer katmanlarından yansıma	Atmosferik gazlar	Düşük elevasyon açılarında hedefleme ve haberleşme
İşaret Parlamları	Troposfer ve iyonosferin kırılma indislerinde oluşan ani değişimler	10 GHz'in üzerinde ve düşük açılarında troposfer; 10 GHz'in altında iyonosfer
Değişik katmanlardan yansıma, Engellenme	Yeryüzü ve yeryüzeyindeki objeler	Hareketli uydu sistemleri (Mobil Haberleşme)
Yayılm gecikmesi ve değişimi	Troposfer ve iyonosfer	Zaman bölmeli çok girişli (TDMA) sistemlerinde
Sistemler arası karışma	Saçılma ve kırılma	Özellikle C bandında, Daha yüksek frekanslarda yağmurun saçma etkileri önem kazanır.

1.2 LİNK ANALİZİ

Bir işaretin iletilmesi kabaca iki aşamada gerçekleşir: İletilmek istenen esas bilgi (ses, görüntü, sayısal veri... vb.) modüle edilerek frekans spektrumundaki yeri değiştirilir ve elde edilen modülasyonlu işaret uygun bir iletim ortamı (Boşluk, dalga kılavuzu, fiber kablo... vb.) kullanılarak istenilen yere ulaştırılır. Yer-uydu haberleşmesinde iletim ortamı uzay boşluğu ve atmosferdir. Modüle edilmiş işaretin, vericiden çıkarak hiç bozulmadan alıcıda yeniden elde edilmesi istenir. Ancak kullanılan elemanlar ve iletim ortamı ideal olmadığı için pek çok bozucu etki işareti etkiler.

İşarete başlıca üç farklı tip değişiklik sistemin performansını etkileyebilir:

- 1) Kırılma: Atmosferin kırılma indisinin yer yüzeyinden yükseldikçe artması ve ani değişimlere sahip olması hedefleme problemlerine yol açar.
- 2) Güç Kaybı: Gazlar, su damlaları, gibi parçacıklar elektromagnetik enerjiyi soğurarak ya da saçılmasına neden olarak iletilen gücü azaltır.
- 3) Karışma: Çeşitli nedenlerle (yağmur damlaları ve buz kristalleri nedeniyle saçılma, yer yüzeyindeki objelerin etkisiyle saçılma.. vb.) başka işaretlerin işarete karışması (Brussaard et al, 1990).



Şekil 1.3 Bir televizyon işaretinin uydu aracılığıyla iletiminde kayıp ve kazançların tipik değerleri görülüyor (Whitaker, 1991).

Kayıplar sistemin kalite ve yeterliliğinin doğrudan bağlı olduğu başlıca sınırlayıcı bir etmendir. Şekil 1.3' de tipik bir uydu sistemi güç seviyeleri görülmektedir. Yağmur nedeniyle oluşan zayıflatmanın toplam atmosfer zayıflatmasına katkısı yağmur şiddetine, işaretin frekansına, polarizasyona bağlı olarak değişir. Örneğin sistem tasarımı sırasında (Avrupa için) 14 GHz 'de, yaklaşık 10-11 dB'lik katkısı vardır (Maral et al., 1993).

1.2.1 Taşıyıcı-Gürültü Oranı

Pratikte her işaret (ses, görüntü, sayısal veri vs...), gürültüyle bir aradadır ve gürültü de bütün sistem boyunca işaretlerle birlikte işlenir. Ayrıca sistemin ürettiği gürültü de esas işarete katılır. Bu nedenle alıcıdaki işaretin kalitesi araştırılırken istenen işaretin gücü ile birlikte gürültü gücü de hesaba katılmalıdır. İşaret gücünün, Gürültü gücüne oranı (C/N) sistemin kalitesine ilişkin bir parametre olabilir. Ancak C/N oranının bir iyilik parametresi olarak kullanılabilmesi için gürültü gücünün; dolayısıyla band genişliğinin belirli olması zorunludur. Oysa bir haberleşme kanalının kalitesinin, iletilecek işareten bağımsız olarak belirlenebilmesi önemlidir.

Haberleşme sistemlerinde karşılaşılan gürültü genellikle beyaz gürültüdür. Beyaz gürültü sıfır ortalamalı Gauss rastlantı değişkeniyle temsil edilebilir ve frekans spektrumunda $N_0/2$ sabit genliğe sahiptir. Taşıyıcı işaret gücünün, gürültünün spektral yoğunluğuna oranı olarak tanımlanan C/N_0 oranı, kanal için band genişliğinden dolayısıyla iletilmek istenilen işareten bağımsız bir kalite ölçüsüdür. Taşıyıcı-gürültü oranı,

$$\frac{C}{N_0} = \frac{P_T \cdot G_T \cdot A_e}{4 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot k \cdot T_s} \quad (\text{Hertz}) \quad (1.1)$$

Burada, P_T : Watt cinsinden verici gücü; G_T : verici anten kazancı; R : metre cinsinden uzaklık; A_e : Efektif anten alanı (m^2); T_s : Sistem gürültü sıcaklığı ($^{\circ}K$); k : Boltzmann sabiti ($1.38 \times 10^{-23} J/^{\circ}K$) dir. Eşdeğer izotropik yayılan Güç: $EIRP = G_T \cdot P_T$ şeklinde tanımlanıp reflektör antenle efektif açıklık arasındaki $A_e = G \cdot \lambda^2 / 4 \cdot \pi$ bağıntısı dikkate alınırsa işaret-gürültü yoğunluğu,

$$\frac{C}{N_0} = EIRP + \frac{G_R}{T_s} - L_s - L_R - L_i - k \quad (\text{dBHz}) \quad (1.2)$$

Burada,

EIRP: Eşdeğer izotropik yayılan güç (dBW);

G_R/T_s : Alıcı sistemin iyilik faktörü (dB/K);

L_s : Serbest uzay kaybı (dB);

L_R : Yağmu ve Atmosfer kayıpları (dB)

L_i : Hedefleme kayıplarıdır (dB).

B (dBHz) band genişliğine sahip İşaret gücünün gürültü gücüne oranı ise

$$\frac{S}{N} = \frac{S}{N_0} - B \quad (\text{dB}) \quad (1.3)$$

ile verilebilir (Pritchard et al., 1990).

1.2.2 Link Yeterliliği

Haberleşmenin kesintiye uğramaması için alıcıya ulaşan işaret-gürültü oranının belirli bir seviyenin altına düşmemesi gereklidir. (1.2) eşitliğinden de görülebileceği gibi yağmur nedeniyle oluşan zayıflatma sistemin kararlılığını bozabilecek bir etkidir. Yer-uydu bağlantısının kopmasına neden olabilecek zayıflatmanın olasılığının bilinmesi oldukça önemlidir.

Link yeterliliğinin ölçüleri konusunda henüz kesin bir uzlaşma sözkonusu olmamakla birlikte, sayısal sistemler için CCITT' nin belirlediği *kullanışsız (yararsız) süre (unavailable time)* bir ölçü olarak yaygın kabul görmüştür, yer-uydu linkleri için yılın %0.1-0.001 ya da en kötü ayın %1-0.3' ü olarak tanımlanır. Genellikle araştırmacılar yılda yaklaşık 50 dakikaya karşı gelen %0.01 olasılık değerini kullanışsız süre olarak ele alırlar (Lin, 1976, Watson et al, 1987, Brussaard et al., 1990)

Bu tezde, mikrodalga frekanslarında bağlantının kararlılığını en fazla etkileyen yağmur zayıflatmasının olasılık dağılım fonksiyonlarının belirlenmesi için bir kestirim yöntemi (Leitao-Watson Modeli) Türkiye'ye uygulanmıştır.

BÖLÜM 2. ZAYIFLATMANIN MODELENMESİ

2.1 KESTİRİM MODELLERİ

Hemen hemen bütün kestirim modelleri noktasal yağış şiddeti (point rainfall intensity) ile yol zayıflatması (path attenuation) arasında eşolasılıklı ilişki kurma prensibine dayanır. Tek bir bölgede ölçülmüş yağış ve zayıflatma değerleri arasındaki ilişkiyi kurmak görece kolay bir işlemdir. Hemen hemen bütün kestirim modellerinde yağış şiddeti ile karakteristik zayıflatma (Specific attenuation, bazı kaynaklarda ise attenuation gradient) arasındaki ilişki,

$$\gamma = a \cdot R^b \quad (2.1)$$

eşitliği ile verilir (Olsen et al. 1978). Burada, γ : Birim uzunluk başına zayıflatma (dB/km); R: Yağmur şiddeti (mm/h); a ile b ise model sabitleridir. 'a ' ile 'b' parametreleri modelin değişken kabul ettiği faktörlerin (frekans, polarizasyon, yağış tipi, sıcaklık, damla şekli ve/veya büyüklüğünün dağılımı ... vb. olabilir.) fonksiyonu olarak ele alınır.

İyi bir model, sınırlı sayıdaki gözlem sonucunda diğer bölgeler, uydular, frekanslar ve polarizasyon biçimleri için yağmur zayıflatmasının meteorolojik veriler kullanılarak kestirimine olanak tanımalıdır.

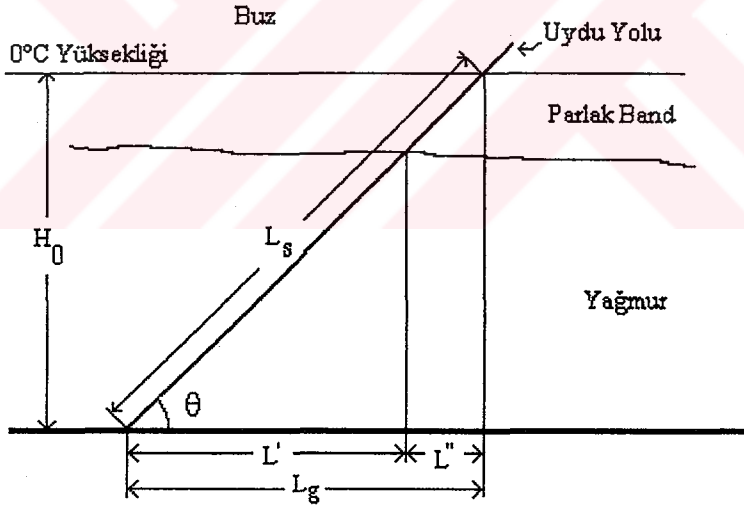
Yer-uydu bağlantılarında yağmur kaynaklı zayıflatmanın kestirimi için 70'li yıllarda ortaya konulan ilk modeller, uygulanacağı her bölgede parametrelerin deneysel olarak belirlenmesi gereken modellerdir. Lin'in modeli en önemli örneklerden biridir (Lin, 1975).

80'li yıllarda meteorolojik veriler dışında, zayıflatma ölçümlerine gerek duyulmadan Dünya çapında uygulanabilir modeller ortaya konulmuştur. Bunlar genel olarak radar ölçümleriyle tayin edilmiş yağmurun mikrofiziksel özellik verilerine dayanan modellerdir. Bunlar arasında en önemlileri Crane, CCIR (International Radio Consultative Commitee) ve Leitao-Watson modelleri sayılabilir. (Crane, 1980ve 1985., Leitao et al.,1986)

Yer-uydu haberleşmesinde yağmur kaynaklı zayıflatmanın kestirim modellerinde, genellikle yeryüzü mikrodalga haberleşmesi zayıflatma yöntemine benzer işlemler, eğimli yol geometrisine uyarlanır. Karakteristik zayıflatmanın yerden donma (0°C) yüksekliğine kadar değişme göstermediği ve bu yüksekliğin üzerindeki donmuş parçacıkların zayıflatmaya katkılarının ihmal edilebilecek düzeyde olduğu varsayılmıştır (Crane, 1980). Böylece haberleşme yolunun zayıflatmaya maruz kısmının yeryüzündeki izdüşümü boyunca karakteristik zayıflatma tayin edildiği takdirde eğimli yolda oluşması beklenen zayıflatma da bulunabilir (Şekil 2.1). Burada yağmurun yatay bir yol boyunca heterojen dağılımı da hesaba katılmalıdır. Buna göre Şekil 2.1 yardımıyla, L_g yolu boyunca zayıflatma A_g ise, eğimli yol L_s boyunca zayıflatma,

$$A_s = \frac{A_g}{\cos \theta} \quad (2.2)$$

dır. Burada θ elevasyon açısıdır.



Şekil 2.1 Yer-uydu yolu geometrisi

Donma yüksekliği (H_0), enlem derecesi ile sıkı bir ilişki içinde olmakla beraber, iklim, mevsim ve diğer coğrafik koşullara göre de değişme göstermektedir. Dolayısıyla, donma yüksekliğinin belirlenmesi için ayrıca modellemeye gereksinim vardır. Ayrıca zayıflatma kestirimindeki bir diğer faktör, iklim tipine bağlı olarak donma yüksekliğinin hemen altında ne tam katı ne de tam sıvı olarak

ele alınabilecek su damlalarından oluşan geçiş tabakasının zayıflatma etkisidir. Çünkü "parlak band" diye isimlendirilen bu geçiş bölgesi her zaman oluşmadığı gibi, zayıflamaya katkısı da yağmurdan farklıdır.

2.2 LEITAO-WATSON MODELİ

2.2.1 Genel Yaklaşım

Belirli bir aşma olasılığına karşı gelen noktasal yağış şiddeti ile eşolasılıklı zayıflatma ilişkisi,

$$P(A > A_s) = P(R > R_p) \quad (2.3)$$

şeklinde yazılabilir. Burada, R_p noktasal yağış şiddeti, A_s söz konusu coğrafi konum için R_p 'ye karşı gelen eğimli yol zayıflatmasıdır.

(3)'deki eşolasılık ilişkisini gerçekleyen zayıflatma temel olarak frekans, polarizasyon, haberleşme yolu, yağış biçimi faktörlerinin fonksiyonudur. Global olarak uygulanabilirliği hedefleyen bir modelin coğrafi konuma göre değişken olan bu faktörleri dikkate alabilmesi için, koşullu olasılık dağılımları tanımlayarak, eşolasılıklı değerler arasındaki ilişkiyi belirlemesi gerekir. Leita-Watson Modelinde bir coğrafi konumda, belli bir frekans ve polarizasyon biçimi için aşağıdaki koşullu bileşik olasılık dağılımları tanımlanmıştır:

$$P(R > R_p) = \sum_i \sum_j P_{ij}(R > R_q, w_i, h_j) \quad (2.4.a)$$

$$P(A > A_s) = \sum_i \sum_j P_{ij}(A > A_s, w_i, h_j) \quad (2.4.b)$$

(2.4.a) ile (2.4.b)'de h_j , H_0 donma yüksekliğinin, δ genişliğindeki $[H_j - \delta/2, H_j + \delta/2]$ aralığında bulunma koşulunu, w_i de yağış türünü temsil eder. Buna göre, R_p noktasal yağış şiddeti; R_q ise söz konusu yağış tipi ile donma yüksekliği koşulları altında o noktadaki yağış şiddetidir. Eşolasılık varsayımından,

$$\sum_i \sum_j P_{ij}(A > A_s, w_i, h_j) = \sum_i \sum_j P_{ij}(R > R_q, w_i, h_j) \quad (2.5)$$

yazılabilir. Buna göre, (5) eşitliğindeki A_s ile R_q değerleri arasında,

$$A_s = C(R_q, w_i, h_j) \quad (2.6)$$

$$R_q = C^{-1}(A_s, w_i, h_j) \quad (2.7)$$

fonksiyonu tanımlanabilir. Eğer $C(R_q, w_i, h_j)$ fonksiyonu oluşabilecek tüm yağış tipleri ve donma yükseklikleri için tayin edilmiş ise, coğrafi konuma bağlı iklimsel farklılığın zayıflatmaya etkilerini hesaba katmada yeterli kabul edilebilir (Leitao et al. 1986). (2.4.b) ile (2.7) eşitliklerinden,

$$P(R > R_p) = \sum_i \sum_j P_{ij}(R > C^{-1}(A_s, w_i, h_j), w_i, h_j) \quad (2.8)$$

yazılabilir. Sonuçta frekans, polarizasyon, elevasyon açısına bağlı olarak,

- (i) sözkonusu yağış tipi ile belirli donma yükseklikleri için eşolasılıklı noktasal yağmur şiddet ve zayıflatma değerleri arasındaki $C(R_p, w_i, h_j)$ ilişkisinin;
- (ii) $P_{ij}(R > R_q, w_i, h_j)$ dağılımlarının bilinmesi gerekmektedir.

$C(R_p, w_i, h_j)$ fonksiyonu, Leitao-Watson tarafından yeterli sayıda istasyonda toplanan radyo verisinden, çeşitli frekans, polarizasyon, ve yağış tipleri için tayin edilerek coğrafi konumdan bağımsız kullanılma durumuna getirilmiştir. (ii)'deki bileşik koşullu olasılık dağılımları özel ölçümler dışında hemen hemen hiçbir coğrafi konum için bulunamadığından sonucun doğruluğunda önemli kayıplara yol açmayan bir basitleştirme yöntemi önerilmiştir: Herbir yağış tipi ve donma yüksekliği ikilisi için ayrı dağılım fonksiyonları yerine, ortalama donma yüksekliği (H_i)'nin yer aldığı yalnızca yağış tipinin koşul olduğu dağılım fonksiyonları kullanılabilir:

$$P(R > R_p) = \sum_i P_i(R > C^{-1}(A_s, w_i, h_i), w_i) \quad (2.9.a)$$

ya da koşullu olasılık tanımından,

$$P(R > R_p) = \sum_i P_i \left(R > C^{-1}(A_s, w_i, h_i) \right) \cdot P_i \left(w_i / R > C^{-1}(A_s, w_i, h_i) \right) \quad (2.9.b)$$

elde edilir. H_i , belirli yağış tipi ve belirli yağış değerinin aşılma olasılığına karşı gelen, ortalama donma yüksekliğidir ve aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$H_i = \langle H_0 \rangle \Big|_{R > R_p, w_i} \quad (2.10)$$

Sonuç olarak, belirli bir noktasal yağmur dağılımı, $P(R > R_p)$ 'ye karşılık zayıflatmayı (9.a) ve (10) eşitlikleriyle belirleyebilmek için, yalnızca, ortalama donma yüksekliği, H_i ile $P_i(w_i/R > R_p)$ dağılımının bilinmesi yeterlidir (Leitao et al., 1986).

2.2.2 Zayıflatma Dönüşüm Faktörü

Radar ölçümlerine göre yağmur, iki tip olarak ayırdedilebilir: Sağanak (showery) ya da konvektif (convective) tip ile tabakalı (stratiform) ya da yaygın (widespread) tip. Radar ölçmelerine göre parlak band detekte edilmiş ise yağış yaygın tip, aksi takdirde sağanak tiptir.

Modelin geliştirilme aşamasında, yatay bir L_g yolu (path) için, frekans ve polarizasyona bağlı olarak, belli bir merkezdeki yağış miktarı (R_p), haberleşme yoluna düşen ortalama yağış miktarı $\langle R \rangle_{L_g}$ ile karakteristik zayıflatma $\langle \gamma \rangle_{L_g}$, meteoroloji ve radar ölçümleriyle belirlenmiştir. Bu amaçla modelde 1, 2, 3, 5, 8, 12 km'lik yol uzunlukları ile 10, 11, 12, 14, 17, 20, 24, 30 GHz frekansları seçilmiştir. Merkezden uzaklık x olmak üzere ölçülen büyüklükler aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$R_p = R(0) \quad (\text{mm/h}) \quad (2.11)$$

$$\langle R \rangle_{L_g} = \frac{1}{L_g} \int_0^{L_g} R(x) \cdot dx \quad (\text{mm/h}) \quad (2.12)$$

$$\langle \gamma \rangle_{L_g} = \frac{1}{L_g} \int_0^{L_g} \gamma(x) \cdot dx \quad (\text{dB/km}) \quad (2.13)$$

İkinci aşamada ölçümler her yol uzunluğu, frekans ve polarizasyon için tekrarlanarak iki eşolasırlıklı oran tanımlanmıştır:

$$C_R(R_p, L_g) = \frac{\langle R \rangle_{L_g}}{R_p} \quad (2.14)$$

$$C_A(R_p, L_g) = \frac{\langle \gamma \rangle_{L_g}}{R_p} \quad (\text{dB/km})/(\text{mm/h}) \quad (2.15)$$

$C_R(R_p, L_g)$ fonksiyonu diğer kestirim modelleri tarafından da kullanılan noktasal yağış şiddeti ile yol boyunca ortalama yağış miktarı arasında ilişki kurmayı amaçlayan bir dönüşüm faktörüdür. Bu modelde ilk kez Leita-Watson zayıflatma dönüşüm faktörü $C_A(R_p, L_g)$ tanımlanmıştır. Bu parametre, yola düşen ortalama yağmur miktarını hesaplamadan doğrudan yol zayıflatmasını hesaplamaya olanak verdiği için daha kullanışlıdır. Buna göre yatay bir L_g yolu boyunca zayıflatma,

$$A_g = \langle \gamma \rangle_{L_g} \cdot L_g = C_A \cdot R_p \cdot L_g \quad (2.16)$$

eşitliği ile hesaplanabilir.

Üçüncü aşamada zayıflatma dönüşüm faktörü ve ilgili yapılan ölçme sonuçları matematiksel yöntemlerle işlenerek aşağıdaki eşitlikler elde edilmiştir:

$$C_A = \begin{cases} (a/20^x) \cdot R_p^{x-1} & R_p < 20 \text{ mm/h} \\ (a/20^x) \cdot R_p^{x-1} & R_p \geq 20 \text{ mm/h} \end{cases} \quad (2.17)$$

Burada, a , x ve y parametreleri,

$$x = t \cdot \log_{10}(L_g + 1) + u \quad (2.18)$$

$$y = v \cdot \log_{10}(L_g + 1) + w \quad (2.19)$$

$$a = \frac{s}{1 + 0.01 \cdot L_g} \quad (2.20)$$

formülleri ile tanımlanmıştır. t , u , v , w , ve a modelin sabitleri olarak tablo halinde her iki tip yağış ve düşey ve yatay polarizasyonlar için ayrı ayrı verilmiştir (Tablo 1). İncelemeler CA'nın sağanak (showery) tip yağışta yaygın (widespread) tip yağışa göre %30 daha büyük olduğu gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak, (17) eşitliği ile, II.1 Genel Yaklaşım Bölümünde anlatılan $C(R_p, w_i, h_j)$ fonksiyonu belirlenmiş oldu. Böylece, (16) ve (17) eşitlikleri bileştirilirse yatay yol boyunca toplam zayıflatma,

$$A_g = \begin{cases} a \cdot (R_p/20)^x \cdot L_g & R_p < 20 \text{ mm/h} \\ a \cdot (R_p/20)^y \cdot L_g & R_p \geq 20 \text{ mm/h} \end{cases} \quad (2.21)$$

olarak bulunur.

Tablo 2.1 Leita-Watson Model Sabitleri

Frekan s	Polari- zasyon	Yaygın Yağış					Sağanak Yağış				
		s	t	u	v	w	s	t	u	v	w
10	H	0.277	-0.295	1.307	-0.475	1.298	0.499	-0.634	1.587	-0.563	1.318
	V	0.248	-0.248	1.239	-0.456	1.258	0.375	-0.567	1.490	-0.563	1.287
11	H	0.366	-0.238	1.263	-0.455	1.267	0.562	-0.624	1.553	-0.553	1.289
	V	0.329	-0.267	1.255	-0.440	1.234	0.474	-0.559	1.466	-0.538	1.245
12	H	0.464	-0.238	1.259	-0.449	1.249	0.684	-0.597	1.510	-0.561	1.277
	V	0.420	-0.217	1.215	-0.433	1.214	0.578	-0.572	1.454	-0.531	1.221
14	H	0.686	-0.224	1.228	-0.432	1.212	0.949	-0.537	1.429	-0.545	1.241
	V	0.624	-0.228	1.211	-0.408	1.172	0.800	-0.496	1.353	-0.534	1.192
17	H	1.07	-0.191	1.180	-0.456	1.193	1.39	-0.472	1.341	-0.553	1.218
	V	0.978	-0.202	1.162	-0.420	1.144	1.17	-0.447	1.277	-0.515	1.148
20	H	1.53	-0.212	1.171	-0.509	1.200	1.90	-0.441	1.290	-0.486	1.162
	V	1.39	-0.198	1.135	-0.470	1.147	1.58	-0.417	1.222	-0.444	1.094
24	H	2.28	-0.196	1.151	-0.497	1.173	2.66	-0.414	1.237	-0.445	1.114
	V	2.06	-0.212	1.131	-0.492	1.135	2.24	-0.394	1.181	-0.452	1.075
30	H	3.64	-0.166	1.118	-0.413	1.113	3.92	-0.389	1.180	-0.410	1.051
	V	3.28	-0.182	1.094	-0.430	1.088	3.38	-0.375	1.134	-0.428	1.028

2.2.3 Efektif Yağmur Yüksekliği

Efektif yağmur yüksekliği modelin anahtar parametrelerinden biridir. Efektif yağmur yüksekliği için kullanılabilecek en basit yaklaşım, donma yüksekliğinin enleme (ϕ) bağlı yıllık ortalamasını kullanmaktır. 30° - 70° enlemleri arasında 31 istasyondan alınmış donma yüksekliği verilerinden elde edilen deneysel bir formül verilmiştir (Leitao, 1985):

$$H_Y(\phi) = 5800 - 72.6 \cdot \phi \quad (\text{m}) \quad (2.22)$$

Yapılan incelemeler donma yüksekliğinin aydan aya da değiştiğini göstermiştir. Aylık ortalama donma yüksekliğini, yıllık ortalama ile yıllık ortalamadan aylık ortalama sapma (ΔH_M) toplamı olarak,

$$H_M(\phi) = H_Y(\phi) + \Delta H_M \quad (\text{m}) \quad (2.23)$$

şeklinde ifade edebiliriz.

Ayrıca, yağışların belirli bir değeri aşma olasılığının iklime bağımlılığını da hesaba katmak için,

$$F_M[R > R_p] = \frac{\text{Bir ayda } R' \text{ nin } R_p \text{ değerini aştığı süre}}{R' \text{ nin } R_p \text{ değerini aştığı yıllık toplam süre}} \quad (2.24)$$

faktörü tanımlanmıştır. Buna göre yağışlı sezon boyunca ortalama donma yüksekliği aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$H_s(\phi, R_p) = \sum_{M=1}^{12} H_M(\phi) \cdot F_M[R > R_p] \quad (2.25)$$

(25) formülü efektif yağmur yüksekliğini yeterli doğrulukta tasvir eder (Leitao, 1985).

2.2.4 MODEL PARAMETRELERİ

Karakteristik zayıflatma,

$$\gamma = \begin{cases} a \cdot (R_p/20)^x & R_p < 20 \text{ mm/h} \\ a \cdot (R_p/20)^y & R_p \geq 20 \text{ mm/h} \end{cases} \quad (\text{dB/km}) \quad (2.26)$$

ile verilebilir. Parametreleri verilen frekanslar (f' ve f'') dışındaki bir f frekansı için aşağıdaki interpolasyon formülleri kullanılabilir:

$$\log(a) = (\log(a'') - \log(a')) \frac{\log(f) - \log(f')}{\log(f'') - \log(f')} + \log(a') \quad (2.27)$$

$$x = (x'' - x') \frac{\log(f) - \log(f')}{\log(f'') - \log(f')} + x' \quad (2.28)$$

$$y = (y'' - y') \frac{\log(f) - \log(f')}{\log(f'') - \log(f')} + y' \quad (2.29)$$

Genel eliptik polarizasyonlu işaretlerin uğrayacağı zayıflatmayı hesaplayabilmek için, τ yatay eksene göre polarizasyon açısı, θ elevasyon açısı olmak üzere,

$$a = |a_H + a_V + (a_H - a_V) \cdot \cos^2 \theta \cdot \cos 2\tau|/2 \quad (2.30)$$

$$x = |a_H x_H + a_V x_V + (a_H x_H - a_V x_V) \cdot \cos^2 \theta \cdot \cos 2\tau|/(2 \cdot a) \quad (2.30)$$

$$y = |a_H y_H + a_V y_V + (a_H y_H - a_V y_V) \cdot \cos^2 \theta \cdot \cos 2\tau|/(2 \cdot a) \quad (2.31)$$

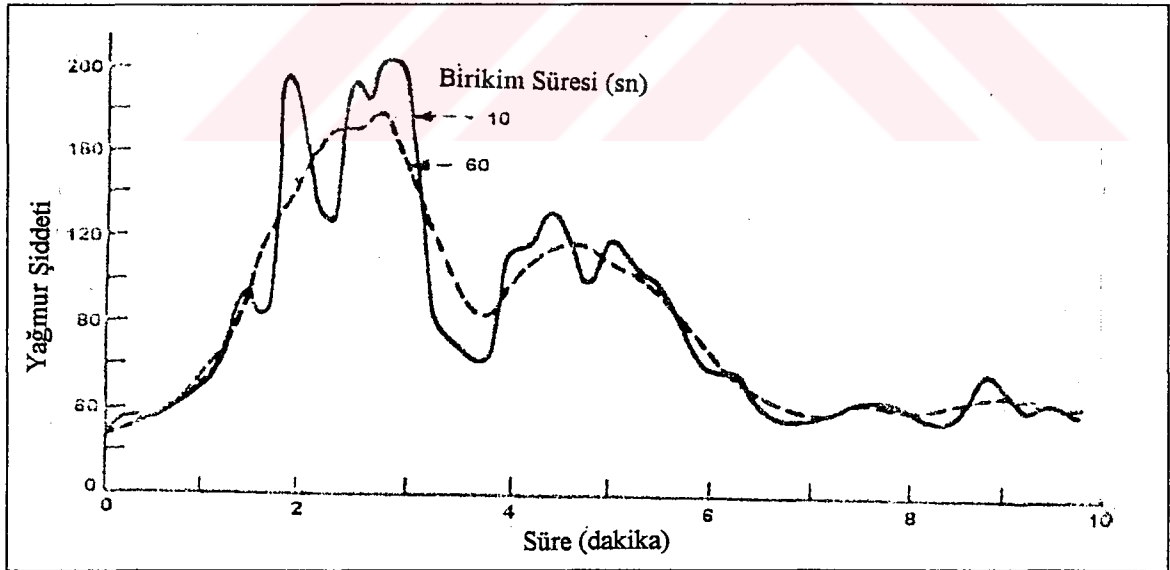
formülleri verilmiştir (Leitao et al, 1986).

BÖLÜM 3 YAĞMUR VERİ TABANININ OLUŞTURULMASI

Doğrudan ölçümlerin bulunmadığı durumlarda yer-uydu yolu zayıflatmasının öngörebilmek için alternatif yollar geliştirilmeye çalışılmıştır. 10 GHz'in üzerinde en önemli zayıflatma kaynaklarından birisi de yağmurdur. Öngörülen değerlerin doğru sonuç verebilmesi için, kullanılacak yağış verilerinin özellikleri önemlidir. Kuramsal olarak en doğru sonuç 'ani yağmur şiddeti' (instantaneous rain rate) kullanılması ile elde edilebilir. Birim hacimdeki 'ani yağmur şiddeti', birim hacimdeki sıvı su miktarı ile düşüş hızının çarpımı olarak tanımlanır (Dutton, 1977). Ancak pratikte bu tanımla verilen yağış şiddetini ölçmek olanak dışıdır. Yağmur ölçerler, ancak belirli bir sürede bir alana düşen sıvı miktarını belirleyebilirler. Söz konusu süre toplama ya da birikim (integration time) süresidir.

Yağmur ölçerle ölçülen yağmur şiddeti, genellikle mm/saat birimiyle verilir. Bu birim, bir saat içinde bir metrekare biriken sıvı su yüksekliğinin mm cinsinden ifadesidir.

Ölçülecek yağmur şiddeti birikim süresine bağlıdır. Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de farklı birikim süreleri ile elde edilen yağmur şiddetleri ve dağılım fonksiyonları görülüyor (Bodtmann et al, 1974).



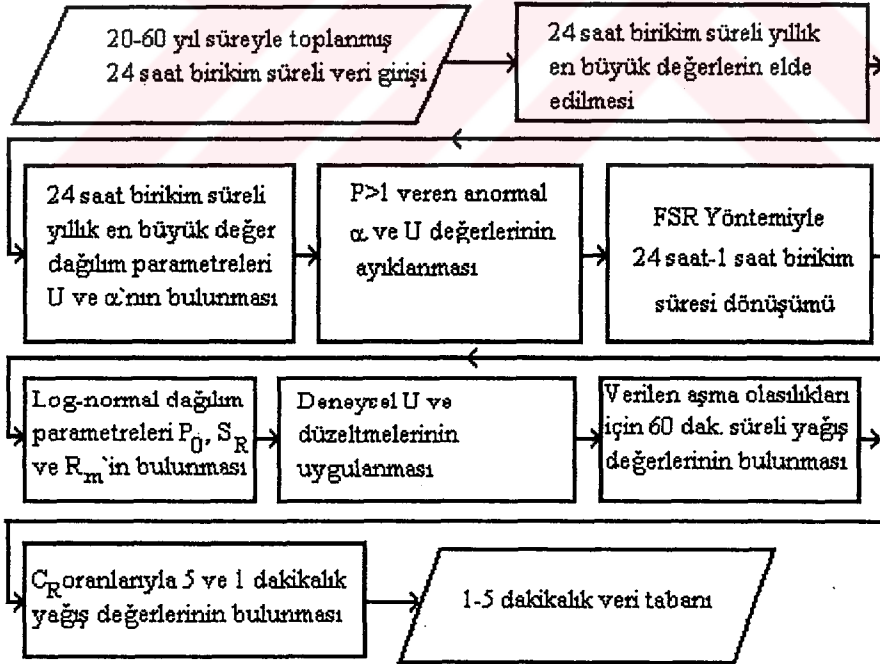
Şekil 3.1 10 ve 60 sn'lik birikim süreleriyle ölçülmüş yağmur şiddetleri

Yer-uydu yolu geometrisi ve frekansları dikkate alındığında en uygun birikim süresinin 1-5 dakika aralığında seçilmesi gerektiği söylenebilir. 1 dakikalık birikim süresi, konuyla ilgilenen araştırmacılar tarafından en uygun değer olarak kabul görmektedir. (Crane, 1980, Watson et al, 1987).

Ancak özel amaçlı ölçümlerde, kısa birikim süreli yağmur ölçümleri yapılmaktadır. Normalde meteorolojik ölçümler daha uzun birikim süreleriyle (1 , 6, 8 ve 24 saat gibi) yapılır. Propagasyon araştırmacıları eldeki uzun süreli meteorolojik ölçüm verilerinin birikim süresini indirmek için çeşitli yöntemler geliştirmişlerdir (Tattelman, 1985). Bu tez çalışmasında, Bradford Üniversitesi'nde, Avrupa'ya uygulanan birikim süresi indirgeme yöntemi kullanılacaktır (Watson et al., 1987).

Yer-uydu yolu zayıflatması amaçlı yağmur veri tabanı oluşturulması işlemlerinde ekstrem değerler istatistiği kullanımı yaygındır. Böylece, sonucun doğruluğundan fazla ödün vermeden, çok az sayıda veriyi işleme olanağı doğar (Lin, 1976).

Bütün Türkiye'ye dağılmış 214 istasyon için 20 ila 60 yıl süreyle toplanmış, 24 saat integrasyon süreli yağmur verileri, T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğünden 14 adet disket (HD) biçiminde elde edilmiştir. Buna göre, Türkiye için yer-uydu yolu zayıflatması amaçlı yağmur veri tabanı oluşturma yönteminin blok şeması Şekil 3.3'deki gibi verilebilir.



Şekil 3.3 Yağmur veri tabanı oluşturma işlemleri akış diyagramı.

3.1 YAĞIŞ DAĞILIM EĞRİLERİ

Genel olarak, yağış şiddetinin gerçek dağılımına en yakın dağılım fonksiyonunun logaritmik-normal (log-normal) dağılım olduğu gösterilmiştir. Özellikle orta ve düşük şiddetli yağışlar lognormal dağılıma oldukça uygun davranır (Lin,1973, Fedi,1979).

3.1.1 Logaritmik Normal Dağılım

Eğer $x = \ln(r)$ normal dağılmış bir değişkense r lognormal dağılmıştır denir ve x 'in olasılık yoğunluk fonksiyonu,

$$f(x) = P(x \leq X \leq x + \Delta x) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi} \sigma} \exp\left(-\frac{1}{2} \left[\frac{x - \mu}{\sigma}\right]^2\right) \quad -\infty < x < \infty \quad (3.2)$$

ile verilebilir. Burada, dağılım parametreleri m ve s sırasıyla ortalama ve standart sapmadır (Meyer,1978).

Sistem tasarımı için, belli bir periyodun hangi oranında zayıflatma nedeniyle haberleşmenin kesintiye uğrayabileceği önemlidir. Dolayısıyla zayıflatma ve yağış miktarının kümülatif (birikimsel) dağılım fonksiyonu hesaplanmalıdır:

$$F(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f(s) \cdot ds \quad (3.3)$$

(2.2) Eşitliği ile verilen yoğunluk fonksiyonunun, kümülatif dağılım fonksiyonu değer tabloları ya da seri açılım biçiminde düzenlenebilir. Buna göre istatistikte standart normal dağılım fonksiyonu $\{\Phi(s)\}$:

$$\Phi(s) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \int_{-\infty}^s \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \quad (3.4)$$

ve 'tümleyen hata fonksiyonu' ,

$$\Phi(s) = 1 - \frac{1}{2} \cdot \text{erfc}\left(\frac{s}{\sqrt{2}}\right) \quad (3.5)$$

olduğundan(Meyer,1978), belli bir coğrafi konumda R_p yağmur şiddetinin belli bir değerden (R) büyük olma olasılığı aşağıdaki şekilde ifade edilebilir (Fedi,1979, Lin1978).

$$P(R_p \geq R) = \frac{P_0}{2} \cdot \text{erfc}\left(\frac{\ln(R) - \ln(R_m)}{S_R \cdot \sqrt{2}}\right) \quad (3.6)$$

Burada,

P_0 , ilgilenilen noktadaki yağmur yağma olasılığı;

$\ln R_m$, $\ln R$ 'lerin ortalama değeri;

S_R , $\ln R$ 'in standart sapması;

olmak üzere lognormal dağılımın parametreleridir ve o coğrafi konuma ait uzun süreli veri tabanı kullanılarak tayin edilebilir. Ayrıca tümleyen hata fonksiyonu mühendislikte bilinen 'hata fonksiyonu' cinsinden,

$$\text{erfc}(t) = 1 - \text{erf}(t) \quad (3.7)$$

dır ve,

$$\text{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp(-t^2) \cdot dt \quad (3.8)$$

ile verilir.

3.1.2 Ekstrem Değerler İstatistiği

Genellikle 10 yıl ya da daha fazla veri işlemi uzun ve can sıkıcıdır. Alternatif olarak "Ekstrem Değerler İstatistiği" geliştirilmiştir. Veri ekstrem değerlerini kullanmak veri miktarını çok büyük ölçüde azaltarak, sonuçta işlemlerin kısa ve hızlı olmasını sağlamaktadır. Ayrıca kısa integrasyon süreli veri elde etmek amacıyla geliştirilmiş, dönüşüm yöntemi (FSR) da ekstrem değerler istatistiğini temel alır.

Bir popülasyondan alınan bir gözlemlerde raslantı değişkeni X 'in x 'ten küçük olma olasılığı $F(x)$ ise, n bağımsız gözlemlerde X 'in aynı x değerinden küçük olma olasılığı 'dır. Bu temel üzerine $(n \cdot N)$ örnek

uzayı teşkil edildiğini ve bu uzayın n tane ekstrem örneğinden bir ekstrem alt uzayı oluşturulduğunu varsayalım. $(n \cdot N)$ örnek uzayının, n ve N sonsuz büyüdüğündeki asimtotik durumda ekstrem alt uzayı olasılık dağılımının aşağıdaki üç tipten birisini gerçeklediği gösterilmiştir (Fisher-Tippet 1927) (Jerkinson, 1977, Bain et al., 1989).

1. Tip (Gumbel Tip):

$$G^1(y) = \exp(-e^{-y}) \quad -\infty < y < \infty \quad (3.9)$$

2. Tip (Cauchy Tip):

$$G^2(y) = \exp(-y^{-\gamma}) \quad y > 0, \gamma > 0 \quad (3.10)$$

3. Tip (Sınırlı Tip):

$$G^3(y) = \begin{cases} \exp(-(-y)^\gamma) & y < 0, \gamma > 0 \\ 1 & y \geq 0 \end{cases} \quad (3.11)$$

Normal, Lognormal, Gamma gibi bilinen pek çok dağılım fonksiyonunu gerçekleyen veri tabanı ekstrem değerleri 1. tip (Gumbel Tip)'e göre dağılır (Gumbel, 1958). Yağış şiddeti dağılımı için lognormal yaklaşımı yapılabilindiğine göre, 1. Tip Ekstrem Değer Dağılımı ile ilgilenilecektir.

Teorik ekstrem değer fonksiyonu ile örneklenen değerler arasında, lineer dönüşümlerin dağılım fonksiyonunu değiştirmemesinden yararlanarak,

$$Y_n = \frac{(X_n - b_n)}{a_n} \quad (3.12)$$

bağlantısı kurulabilir. Buna göre, en büyük dağılım $G(y)$ ile örnek uzayı dağılım fonksiyonu $F(x)$ arasındaki bağlantı aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} [F(a_n \cdot y + b_n)]^n = G(y) \quad (3.13)$$

Bu eşitliği ancak şu koşulun gerçekleşmesi mümkün kılar. (Gnedenko) (Bain et al., 1989).

$$\lim_{n \rightarrow \infty} n \cdot [1 - F(a_n \cdot y + b_n)] = -\ln G(y) \quad (3.14)$$

Verilen (13)-(14) bağıntıları bilinmeyen $G(y)$ ve $F(x)$ fonksiyonları ve a_n , b_n dönüşüm katsayıları için çözümü zor problemler tanımlar. Burada bu problemlerin çözümünü kolaylaştıracı iki tanım verilecektir (Gumbel, 1958, Bain, 1989):

1 Karakteristik Ekstrem Değer u_n , n gözlemde yalnızca bir defa aşılması beklenen değer olarak tanımlanır:

$$n \cdot [1 - F(u_n)] = 1 \quad (3.15)$$

2 Ekstremal şiddet fonksiyonu n gözlemde u_n 'in gerçekleşme olasılığı olarak tanımlanır:

$$\alpha_n = n \cdot f(u_n) \quad (3.16)$$

Karakteristik ekstrem değer u_n , ekstremal şiddet fonksiyonu α_n ile a_n , b_n dönüşüm katsayıları arasında aşağıdaki ilişkinin olduğu gösterilmiştir (Gumbel, 1958).

$$b_n = u_n, \quad \alpha_n = \frac{1}{a_n} \quad (3.17)$$

Buna göre (3.12) aşağıdaki gibi yeniden yazılabilir:

$$y = \alpha_n \cdot (x - u_n) \quad (3.18)$$

Ekstrem değer dağılımları ile gerçek dağılımlar arasındaki ilişki kurmak amacıyla buna göre, karakteristik en büyük değer tanımından,

$$P = (R_p \geq R_{u_n}) = \frac{P_o}{2} \operatorname{erfc} \left[\frac{u_n - \ln R_m}{S_R \sqrt{2}} \right] = \frac{1}{N} \quad (3.19)$$

elde edilir. Burada u_n karakteristik en büyük değer, N bir yıldaki ölçüm aralığı sayısı ve

$$R_{u_n} = \exp(u_n)$$

dir. Ekstremal şiddet fonksiyonu ise,

$$\alpha = \frac{P_o N}{S_R} \exp \left(- \frac{(u_n - \ln R_m)^2}{2 S_R^2} \right) \quad (3.20)$$

elde edilir. (4)'deki tanımdan,

$$\Phi\left(\frac{u_n - \ln R_m}{S_R}\right) = 1 - \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{u_n - \ln R_m}{S_R \sqrt{2}}\right) \quad (3.21.a)$$

veya,

$$\frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{u_n - \ln R_m}{S_R \sqrt{2}}\right) = 1 - \Phi\left(\frac{u_n - \ln R_m}{S_R}\right) \quad (3.21.b)$$

(3.21.b) ile (3.19)'dan,

$$1 - \Phi\left(\frac{u_n - \ln R_m}{S_R}\right) = \frac{1}{NP_o} \quad (3.21.c)$$

ve bundan yararlanarak,

$$\frac{u_n - \ln R_m}{S_R} = \Phi^{-1}\left(1 - \frac{1}{NP_o}\right) \quad (3.21.d)$$

yazılabilir. (3.21.c)'yi (3.20)'de yerine koyarsak,

$$S_R = \frac{P_o N}{\alpha} \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \left[\Phi^{-1}\left(1 - \frac{1}{P_o N}\right)\right]^2\right) \quad (3.22)$$

elde edilir. (3.4) ve (3.7) eşitlikleri yardımıyla,

$$\phi(x) = \frac{\partial \Phi(x)}{\partial x} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \Rightarrow \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) = \sqrt{\pi} \cdot \phi(x)$$

elde edilir. (3.7), (3.8), (3.20) ve (3.21.c)'den yararlanarak,

$$S_R = \frac{\sqrt{\pi}}{\alpha} \cdot P_o \cdot N \cdot \Phi \left[\Phi^{-1} \left(1 - \frac{1}{P_o N} \right) \right] \quad (3.22)$$

yazılabilir. (3.21) eşitliğinden yağış süresince yağış şiddetinin medyan (olasılığı 0.5 olan) değeri,

$$R_m = \exp \left[u_n - S_R \Phi^{-1} \left(1 - \frac{1}{P_o N} \right) \right] \quad (3.23)$$

bulunur. Buna göre yıllık ortalama düşen yağmur miktarı (MAR), mm/saat olarak (W),

$$W = \frac{MAR}{8760} = P_o \cdot R_m \cdot \exp \left(\frac{S_R^2}{2} \right) \quad (3.24)$$

şeklinde ifade edilebilir. Buradan P_o çekilirse,

$$P_o = \frac{W}{R_m} \cdot \exp \left(-\frac{S_R^2}{2} \right) \quad (3.25)$$

elde edilir. (3.25) eşitliği (3.20)'de yerine konulursa,

$$S_R = \frac{WN}{\alpha R_m} \cdot \exp \left(-\frac{1}{2} \left[S_R^2 + \left(\frac{u_n - \ln R_m}{S_R} \right)^2 \right] \right) \quad (3.26)$$

(3.26)'dan yararlanarak,

$$\frac{1}{2} S_R^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{u_n - \ln R_m}{S_R} \right)^2 = \ln \frac{WN}{\alpha} - \ln R_m - \ln S_R$$

ve $R = \ln R_m$ olarak yeniden düzenlenirse,

$$\frac{R^2}{S_R^2} + 2 \left(1 - \frac{u_n}{S_R^2} \right) R + \frac{u_n^2}{S_R^2} - 2 \ln \frac{WN}{\alpha S_R} + S_R^2 = 0 \quad (3.27)$$

elde edilir.

(3.25)'deki Po ifadesi (3.21.c)'de yerine konulursa,

$$\operatorname{erfc}\left(\frac{u_n - \ln R_m}{\sqrt{2} \cdot S_R}\right) = \frac{2R_m}{WN} \cdot \exp\left(\frac{S_R^2}{2}\right) \quad (3.28)$$

bulunabilir. Her iki tarafın doğal logaritması alınır ve düzenlenirse,

$$-\frac{S_R^2}{2} - \ln R_m - \ln \frac{2}{WN} + \ln E = 0 \quad (3.29)$$

elde edilir. Burada,

$$E = \operatorname{erfc}\left(\frac{u_n - \ln R_m}{\sqrt{2} \cdot S_R}\right)$$

dir.

(3.27) ikinci dereceden denkleminde R çözümlerse,

$$R_{1,2} = -S_R^2 + u_n \mp S_R^2 \sqrt{\frac{2u_n}{S_R^2} + \frac{2}{S_R^2} \ln\left(\frac{WN}{\alpha S_R}\right)}$$

bulunur. $R = \ln R_m$ olduğuna göre

$$\ln R_m = -S_R^2 + u_n - S_R \sqrt{2 \left[\ln\left(\frac{WN}{\alpha}\right) - u_n - \ln S_R \right]} \quad (3.30.a)$$

ve

$$A = \frac{u_n - \ln R_m}{S_R}$$

tanımlanarak, (3.30.a) eşitliği yeniden düzenlenirse,

$$A = S_R + \sqrt{2 \left[\ln \left(\frac{WN}{\alpha} \right) - u_n - \ln S_R \right]} \quad (3.30.b)$$

bulunabilir.

Böylece ,

$$R_m = \exp(u_n - S_R A) \quad (3.31.a)$$

elde edilir. Burada S_R aşağıdaki denklemin çözümü olarak bulunabilir:

$$Y(S_R) = AS_R - \frac{S_R^2}{2} - \ln \frac{2}{WN} - u_n + \ln \left(\operatorname{erfc} \frac{A}{\sqrt{2}} \right) = 0 \quad (3.31.b)$$

$Y(S_R)=0$ eşitliği nümerik olarak çözülerek gerçek yağmur olasılık parametresi S_R elde edilir. Diğer parametreler R_m ve P_o (3.31) ve (3.26) eşitliklerinden hesaplanır.

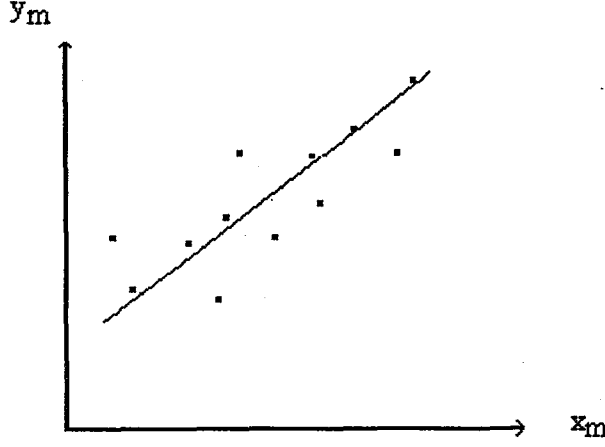
3.1.3 Dağılım Parametrelerinin Hesaplanması

1. Tip Ekstrem değer dağılımı parametreleri (u_n ile a) ve ortalama yıllık yağış miktarı belirlendiği takdirde, gerçek yağış (lognormal) dağılım parametreleri bulunabilmektedir. Literatürde a ve u_n parametrelerinin belirlenmesi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. En yaygın uygulanan yöntemlerden biri 'en küçük kareler' yöntemidir, ki burada bu yöntem kullanılmaktadır.

Artan değer sırasına dizilmiş n gözlem arasından m 'nin gelme olasılığı binominal dağılımla verilebilir. Binominal dağılım yaklaşık olarak, $m/(n+1)$, $(m-0.31)/(n+0.38)$, $(m-1)/n$, m/n gibi sadece n ile m 'e bağlı fonksiyonlar biçiminde verilebilir (Jérkinson,1977), ve gözlenen değerlerin $(m-1)/n$ ile m/n eğrileri arasında yer aldığı gösterilmiştir (Gumbel,1958). Buna göre seçilen $F_m = m/(n+1)$ fonksiyonu, sıralanmış n ekstrem değerlerin m 'nin olasılığını verecektir ve bu değer aynı zamanda Gumbel Tip Ekstrem Değer dağılımın(3.9)da sağlamalıdır:

$$F_m = G^1(y) = \exp(-e^{-y}) \Rightarrow y_m = -\ln(-\ln F_m) \quad (3.32)$$

(3.32) kullanılarak, (x-y) düzleminde gözlenen her en büyük değere (x_m) karşı gelen (y_m) değeri işaretlenir. Böylece problem x-y düzleminde işaretlenen noktalara en çok uyan doğrunun denklemini bulma problemine dönüşür (Şekil 3.3



Şekil 3.3 Gözlenen değerlerin olasılık kağıdında (The Probability Paper) işaretlenmesi

Sonra a ve u_n değerleri, en küçük kareler yöntemiyle, bu doğrunun eğimi ile yatay eksen kestiği noktadan bulunabilir. Bazı aykırı değerler dolayısıyla oluşabilecek hataları minimize etmek için şöyle bir yol izlenmiştir (Watson et al,1980): Bilinen en küçük kareler yöntemiyle u_n değeri bulunduktan sonra α , bu noktadan bütün noktalara çizilen doğruların eğimleri,

$$\alpha_i = \frac{y_i}{x_i - u_n} \quad (3.33)$$

ortalaması alınarak bulunmuş ve u_n , bu α değerini sağlayacak şekilde modifiye edilmiştir.

3.2 BİRİKİM SÜRESİ DÖNÜŞÜMÜ

İntegrasyon süresinin dönüşümü için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. İngiltere'de Watson ve Ekibinin yaptığı çalışmada en uygun dönüşüm yönteminin iki aşamada olduğu ortaya konulmuştur:

- i) İngiltere Meteoroloji Ofisinde Jerkinson ve ekibi tarafından (Flood Studies Report-FSR) geliştirilen dönüşüm yöntemi ile 24 saat - 1 saat dönüşümü;
- ii) Bütün Avrupa iklimleri için ölçümlerle elde edilen İntegrasyon süresi dönüşüm faktörü C_R değerlerini kullanarak 1 saat - 1 veya 5 dakika dönüşümü.

Ayrıca farklı kıtalarda yapılan ölçümler, integrasyon süreleri ile ölçülen yağış şiddetleri arasındaki oranların yaklaşık olarak iklimlerden bağımsız olduğunu, kesin olmamakla birlikte göstermektedir (Bell,1969).

3.2.1 FSR Yöntemi

Bu yöntem ekstrem değerler istatistiği temel alınarak geliştirilmiştir. Yöntemde 5 yıllık tekrarlama periyodlu istatistiksel parametre (R) anahtar olarak yer alır. Yapılan çalışmalardan farklı integrasyon sürelerine sahip 5 yıllık tekrarlama periyodlu (R) parametrelerinin, R_0 , B, n iklimsel sabitler Tablo 3.1'de verilmek kaydıyla aşağıdaki denklemi sağlayacağı gösterilmiştir (Watson et al,1980, Keers et al,1977):

$$R = \frac{R_0}{(1+B \cdot D)^n} \quad (3.34)$$

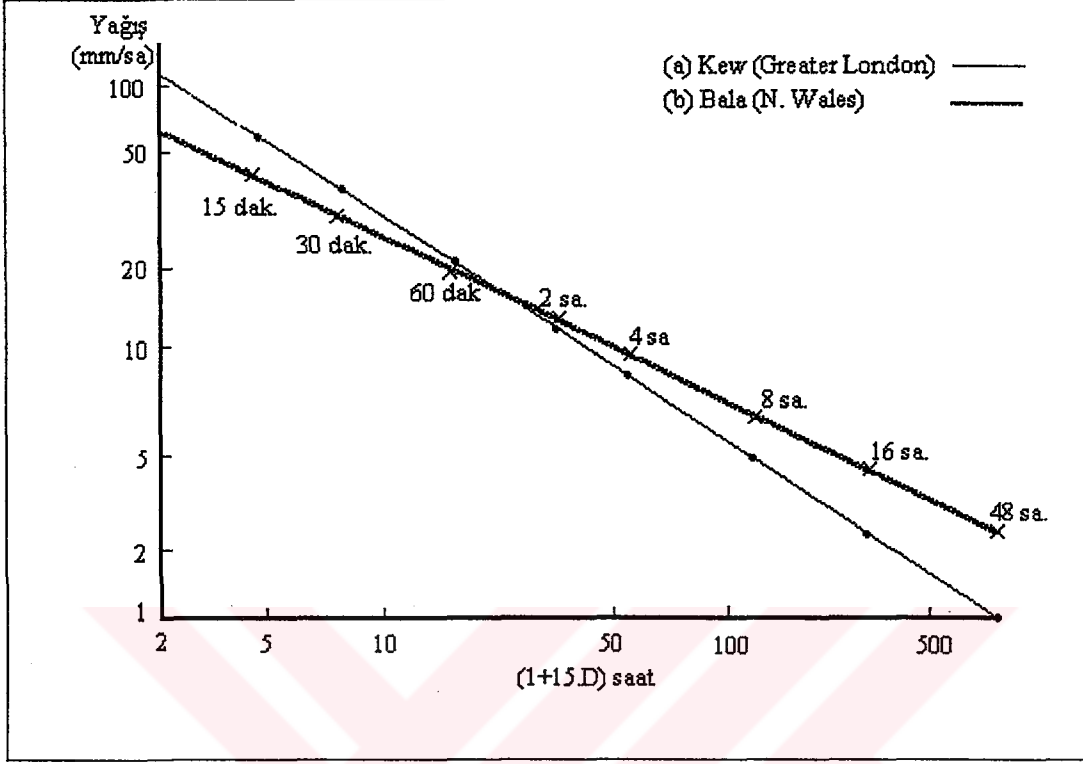
R_0 , B, n yıllık ortalama düşen yağış miktarına bağlı sabitler olarak tablo halinde verilmiştir ve D saat olarak integrasyon süresidir. (3.34)'ün her iki tarafının logaritması alınırsa,

$$\ln(R) = \ln(R_0) - n \cdot \ln(1+B \cdot D) \quad (3.35)$$

elde edilir.Burada belli bir coğrafi konumda R_0 'Ani yağış şiddeti' integrasyon süresinden bağımsızdır. D_1 ve D_2 saat cinsinden sırasıyla ölçüm yapılan (24 saat) ve gereksinim duyulan (1 saat) integrasyon süreleri olduğu takdirde bilinen R_1 değerlerinden yararlanarak,

$$\ln(R_2) = \ln(R_1) + n \cdot \ln\left(\frac{(1+B \cdot D_1)}{1+B \cdot D_2}\right) \quad (3.36)$$

R_2 değerlerini hesaplamak mümkündür.



Şekil 3.4 Ölçülen, yağış şiddetleri ile birikim süresi arasındaki ilişki (Keers et al,1977).

Tablo 3.1 Kullanılan İklimsel Sabitler (Watson et al,1980).

Ortalama Yıllık Yağış (mm)	R0 (mm/saat)	n	B
500-600	170	0.78	15
600-800	165	0.75	15
800-1000	160	0.70	20
1000-1400	150	0.64	25
1400-2000	145	0.60	30
2000-2800	145	0.54	35
2800-4000	145	0.47	40
4000-	145	0.44	45

3.2.2 C_R Oranları

Avrupanın çeşitli bölgelerinde (Belçika, Çekoslovakya, İngiltere, İtalya, Norveç) hızlı yağmur ölçerlerle yapılan ölçüm verileri değerlendirilerek, farklı integrasyon süresine sahip düşük olasılıklı (yüksek şiddetli) yağış miktarlarının birbirlerine oranları incelenmiştir.

60 dakikalık integrasyon süreli yağış şiddetleri ile t(=1, 5 ve 10) dakikalık yağış şiddetlerine oranları,

$$C_R(e) = \frac{R_{60}(e)}{R_t(e)} \quad (3.37)$$

formülüyle hesaplanmıştır. Ölçülen değerler ve oran, aşılma e(=% 0.1, % 0.01 ve % 0.001) olasılıklarının fonksiyonudur. Belirli bir aşılma olasılığı için her yerde yaklaşık aynı sabit değerler elde edilmiştir. Tablo 2'de % 0.1 ve % 0.01 aşılma olasılıkları için verilen değerler % 5 standart sapma ile bütün veriler kullanılarak elde edilen sonuç değerlerdir. % 0.001 aşılma olasılığı için ise daha büyük farklılıklar gözlenmiştir. Ancak bu farklılıkların büyük olasılıkla, çok düşük olasılıklı yağış şiddetlerini ölçmedeki zorluk ve hatalardan kaynaklanabileceğine işaret edilmektedir (Watson et al,1980).

Tablo 2 Avrupa verileri ile hesaplanan sonuç C_R oranları (Watson et al,1980)

C _R	Aşılma Olasılığı		
	% 0.1	% 0.01	% 0.001
$\frac{R_{60 \text{ dak.}}}{R_{5 \text{ dak.}}}$	0.72	0.52	0.45
$\frac{R_{5 \text{ dak.}}}{R_{1 \text{ dak.}}}$	0.90	0.84	0.82

BÖLÜM 4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Leita-Watson yöntemi kullanılarak, Türkiye'nin "yağmur kaynaklı, yer-uydu haberleşmesi zayıflatma haritaları", % 0.1, %0.01 ve % 0.001 aşma olasılıkları ile yatay, düşey ve dairesel polarizasyonlar için çıkarılmıştır. Bu amaçla kullanılan en önemli önemli üç tane Turbo C programı EK.2'de; Meteorolojik verilerin alındığı istasyonların listesi ile, % 0.01 aşma olasılığı için hesaplanan zayıflatma değerlerini içeren bir örnek sonuç veri dosyası EK.3'de ve % 0.01 aşılma olasılıkları için çizilen Türkiye haritaları EK.4'de verilmiştir.

Gerek 24 saat birikim süreli yağmur verisinden 1 dakikalık verilerin elde edilmesinde gerekse zayıflatma kestiriminde hata yapılmış olma olasılığı yüksektir. Ancak yapılan hesaplamalar için henüz hata analizi yapılmadığından yapılan hatanın derecesi hakkında sağlıklı bilgi mevcut değildir. Hesaplanan değerler için hata analizi yapılmamıştır. Bu nedenle doğruluk dereceleri bilinmemektedir. Birikim süresi indirgeme yöntemi ile ilgili hata analizi, T.C Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilecek mevcut kısa birikim süreli yağmur verileri ile yapılabilir. Fakat, kestirim modelinin Türkiye için hangi hatayla sonuç verdiğini analiz etmek için gerekli radyo zayıflatma verileri henüz yoktur. TÜRKSAT Uydusunun atılmasından sonra, bu tür verinin toplanması işlemlerine başlanabilir.

Leita-Watson Modeli, Avrupa için test edilmiştir. Ülkemizin Avrupa'ya iklim ve enlem derecelerine göre yakınlığı , bu modelin Avrupa'dakine benzer derecede doğrulukla çalıştığını düşündürmektedir. Leita-Watson Modeli, CCIR (1982) ve Crane (1980) Modelleri ile yapılan karşılaştırmada en iyi sonuçları verdiği gözlemlenmiştir (Leita, 1985). Ancak, daha sonraki yıllarda geliştirilen yöntemlerle karşılaştırılmamıştır.

Konum veya iklim olarak birbirine yakın bölgelerin ortak özellikleri olacağı düşüncesinden hareketle CCIR tarafından geliştirilmiş Global Bölgesel Yağış haritasında Türkiye, yalnızca iki bölgeye ayrılmıştır. Bu haritadaki bölgelendirme ülke içi bölgesel ayrımları belirlemede yeterli değildir. Bu nedenle, Türkiye için yeni bir bölgesel yağış şiddeti ile bölgesel zayıflatma haritasının geliştirilmesi düşünülebilir. Bölgesel haritanın burada verilen kontur haritalarından çok daha kullanışlı olacağı söylenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Alfredo, H.S. W.H. Tao, Probability Concepts in Engineering Planning & Desing, Vol 1, John-Wiley
- [2] Bain, L. J. M. Engelhard, 1989, Introduction to Probability and Mathematical Statistics, PWS-KENT - BOSTON
- [3] Bell, F. C., 1969. "Generalised Rainfall- Duration- Frequency Relationships", Journal of the Hydraulics Division, Proc. of the A.S.C.E.
- [4] Bodtmann, W. F. and Ruthroff, C. L., 1974. "Rain Attenuation on Short Radio Paths: Experiment and Design", Bell System Technical Journal, Vol.53, No.7.
- [5] Brussaard, G. and Rogers D. V., 1990. "Propagation Considerations in Satellite Communication Systems", Proceedings of The IEEE. Vol. 78, No. 7, pp. 1275- 1281.
- [6] Crane, R. K., 1980. "Prediction of Attenuation by Rain", IEEE Trans. on Comm. Vol. COM-28, No.9.
- [7] Crane, R. K., 1985. "Comparative Evaluation of Several Rain Attenuation Prediction Models", Radio Science, Vol.20, No:4, pp.843- 863.
- [8] Dingle, R. B., 1973. Asymptotic Expensions, Their Deviation and Interpretation, Academic Press, London and New York.
- [9] Dutton, E. J., 1977. "Earth- Space Attenuation Prediction Procedures At 4 to 16 GHz", U.S. Department of Commerce, OT Report 77-123.
- [10] Fedi, 1979. Alta Frequenza, vol XLVIII , N.4, pp.167-184.
- [11] Gumbel , E. J., 1958. Statistics Of Extremes, Columbia University Press.

- [12] Ha, Tri T., 1990, Digital Satellite Communications, McGraw-Hill.
- [13] Jerkinson, A. F., 1977. "The Analysis of Meteorological and Other Geophysical Extremes", M.E.T. O.13, Technical Note No.28.
- [14] Keers, J. F. and Wescott, P., 1977. "A Computer Based Model for Designing Rainfall in the United Kingdom", MET Office Scientific Paper, No.36, Met O 0.900 .
- [15] Leitao, M. J., 1985. "Propagation Factors Affecting the Design of Satellite Communication Systems", Ph.D. Thesis, University of Bradford, U.K..
- [16] Leitao M. J. and Watson, P. A., 1986. "Method for Prediction of Attenuation on Earth- Space Links Based on Radar Measurements of the Physical Structure of Rainfall", IEE Proceedings, Vol.133, Pt.F, No.4.
- [17] Lin, S. H., 1973. "Statistical behaviour of rain attenuation", B.S.T.J. ,52, No.4, pp.557- 581.
- [18] Lin, S. H. ,1975. "A Method for Calculation Rain Attenuation Distribution on Microwave Paths", B.S.T.J. July- Augst.
- [19] Lin, S. H., 1976. "Rain rate distribution and extreme value statistics", B.S.T.J., No.5, pp. 1111-1124.
- [20] Lin, S. H., 1978. "More on rain rate distribution and extreme value statistics", B.S.T.J., 57, No.5, pp. 1545-1568.
- [21] Maral, G. and Bousquet, M., 1993. Satellite Communication Systems, John Wiley.
- [22] Meyer, P. L. Introductory Probability and Statistical Applications, Addison- Wesley Publishing Company, 1978.
- [23] Olsen, R. L., Rogers, D.V. and Hodge, D. B., 1978. "The aR^b Relation in the Calculation of Rain Attenuation", IEEE Trans. on Antennas and Prop. Vol.Ap-26, No:2.

- [24] Pritchard, W, L and Ogata, M, 1990. "Satellite Direct Broadcast", Proceedings of IEEE, Vol. 78, No. 7.
- [25] Tattelman, P. and Grantham, D. D., 1985. "A Review of Estimating 1 min Rainfall Rates for Microwave Attenuation Calculations", IEEE Transactions on Communications, Vol. Com- 33, No. 33, No. 4, pp.361- 371.
- [26] Watson, Güneş, Potter, Sathiasseelan, Leitao "Development of A Climatic Map of Rainfall Attenuation for Europe", Final Report of The ESA, June 1982.
- [27] Watson, P. A., Leitao, M. J., Sathiasseelan, V., Güneş, M. Baptista, J. P. V. P., Potter, P. A., Sengupta, N., Turney, O. Brussard, G., ,1987. "Prediction of Attenuation on Satellite- Earth Links in the European Region.", IEE Proceedings, Vol.134, Pt.F., No.6, Oct.
- [28] Whitaker, Jerry C., 1991, Radio Frequency Transmission Systems: Design and Operation, McGraw- Hill.

EK.1 ITU (Uluslararası Telekomünikasyon Birliği)

ITU, 1932 yılında Uluslararası Telgraf Birliği (International Telegraph Union, 1865-1932) ile Radyo Telgraf Birliği (Radio Telegraph Union, 1901-1932)'nin birleştirilmesi sonucu kuruldu. Merkezi Cenova'dadır. Dört temel organı vardır:

- (1) Genel Sekreterlik: İşletme ve teknik işbirliğinden sorumludur.
- (2) IFRB (International Frequency Registration Board, Uluslararası frekans tescil Kurulu): Frekans ve yörünge pozisyonlarını kaydetmek ve üye ülkelere spektrum bölgelerinde haberleşmenin karışma nedeniyle aksamaması için pratikte kullanılabilecek kanal sayısının en büyük değeri konusunda öneride bulunmak bu organın sorumluluğundadır.
- (3) CCIR (International Radio Consultative Committee, Uluslararası Radyo Danışma Komitesi; CCIR, Fransızca söylenişinin baş harflerinden oluşmaktadır.): Radyo haberleşmesi (Radiocommunication) ile ilgili teknik ve işlemsel sorunlar konusunda çalışmalar yapar. 4 yılda bir gerçekleşen CCIR tam kongresinden sonra rapor, öneri ve kararlar "Green Books" 'da yayınlanır.
- (4) CCITT (International Telegraph and Telephone Consultative Committee, Uluslararası Telgraf ve Telefon Danışma Komitesi): Telgraf ve telefon ilgili teknik ve işlemsel sorunlar konusunda çalışmalar yapar.

Tablo EK.1.1 Sabit Uydu servislerine ayrılan frekans bölgeleri

Frequency range (GHz)	Restrictions ^a	Frequency range (GHz)	Restrictions ^a
2.5-2.535	1n, 2d, 3d	18.1-21.2	d
2.535-2.655	1n, 2b, 3n	27-27.5	1n, 2u ^c , 3u ^c
2.655-2.690	1n, 2b, 3u	27.5-31	u
3.4-4.2	d	37.5-40.5	d
4.5-4.8	d	42.5-43.5	u
5.725-5.85	1u, 2n, 3n	47.2-49.2	u ^c
5.85-7.075	u	49.2-50.2	u
7.25-7.75	d	50.4-51.4	u
7.9-8.4	u	71-74	u
10.7-11.7	1b ^b , 2d, 3d	74-75.5	u
11.7-12.3	1n, 2d, 3n	81-84	d
12.5-12.7	1b, 2n, 3d	92-95	u
12.7-12.75	1b, 2u, 3d	102-105	d
12.75-13.25	u	149-164	d
14-14.5	u	202-217	u
14.5-14.8	u ^b	231-241	d
17.3-17.7	u ^b	265-275	u
17.7-18.1	b ^b		

Bölgeler:

- 1 : Avrupa, Afrika, eski SSCB ve Moğolistan.
- 2 : Kuzey ve Güney Amerika, Greenland.
- 3 : Asya (eski SSCB ve Moğolistan hariç), Avusturalya, Güneybatı Pasifik.

d : Aşağı Link, u : Yukarı Link, n : Tehsis edilmedi, b : İki yönlü.

Tablo EK.1.2 Uydu yayın bölgelerine ayrılan frekans bölgeleri

Frequency range (GHz)	Restriction ^a
0.62-0.79	t
2.5-2.69	c
11.7-12.1	1, 3 only
12.1-12.2	
12.2-12.5	1, 2 only
12.5-12.7	2, 3c only
12.7-12.75	3c only
22.5-23	2, 3 only
40.5-42.5	
54-86	

EK.2 KULLANILAN TURBO C PROGRAMLARI

1-Yıllık en büyük değerleri extreme.dat dosyasından okuyarak,

i) Ekstrem değer dağılım parametreleri u_n ve α 'yı hesaplayan;

ii) Birikim süresi indirgemek için FSR metodunu uygulayan;

iii) 1 Saat birikim süresine indirgenmiş ekstrem değer dağılım parametrelerinden log-normal dağılım parametrelerini hesaplayan;

iv) 1 Saatlik lognormal dağılım parametrelerini kullanarak % 0.1, % 0.01 ve % 0.001 olasılıkla aşılması beklenen yağış şiddeti değerlerini hesaplayan;

iv) CR oranlarından yararlanarak bulduğu 1 veya 5 dakikalık % 0.1, % 0.01 ve % 0.001 olasılıkla aşılması beklenen yağış şiddeti değerlerini dosyaya yazan program:

```
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <math.h>
void sort(float kt[80],char prime[400],int ny);
double srf(double u,double alpha,double ww,int tiy);
double alpha(float kt[80],int ny);
double mode(double alpha,float kt[80],int ny);
double rlogex(double sr,double rm,double po,double pr);
double pinv(double p);
double udtoux(double ud,double mar);
double inter(double x[99],double y[99],double y0,int n);
```

```
void main() /*ana program*/
```

```
{
FILE *ext;
FILE *dene;
char prime[400],data[60],temp[60],aarf[50];
char pr[4],cmar[8],nofyr[4],site[13];
int h,n,m,k,i,ny,dul;
double a,u,u1,rr1,rr2,rr3,rr4;
double w,qu,z1,sr,rm,po,mar;
float fm[100],kt[80],pm[100];
clrscr();
if((ext= fopen("extreme.dat", "r"))==NULL)
{
printf("cannot open SOURCE file");
exit(1);
}
```

```

if((dene= fopen("ronemin.dat", "w"))==NULL)
{
    printf("cannot open file");
    exit(1);
}

cmar[7]='\0';nofyr[3]='\0';
dul=8760;
for(h=1;h<235;h++)
{
    for(n=0;n<=69;n++) kt[n]=0;
    fgets(temp,sizeof(char)*60,ext);
    fgets(data,sizeof(char)*60,ext);
    fgets(aarf,sizeof(char)*50,ext);
    fgets(prime,sizeof(char)*400,ext);
    strncpy(cmar,aarf+2,6);
    strncpy(nofyr,data+18,3);
    strncpy(site,temp+23,12);
    site[12]='\0';
    ny=atoi(nofyr);
    mar=atof(cmar);
    w=mar/8760;
    sort(kt,prime,ny);
    for(m=1;m<=ny;m++) kt[m]=log(kt[m]/240);
    a=alpha(kt,ny);
    u=mode(a,kt,ny);
    u1=udtoux(u,mar);
    u=u1;
    qu=log(w*dul/sqrt(6.283)/a)-u; /*dul=8760 is number of time interval of a year*/
    sr=srf(u,a,w,dul);
    z1=sr+sqrt(2*(qu-log(sr)));
    rm=exp(u-sr*z1);
    po=w*exp(-sr*sr/2)/rm;
    /*
    rr1=rlogex(sr,rm,po,1);*/
    rr2=rlogex(sr,rm,po,0.1);
    rr3=rlogex(sr,rm,po,0.01);
    rr4=rlogex(sr,rm,po,0.001);
    fprintf(dene,"%s %f %f %f\n",site,rr2/0.72/0.9,rr3/0.52/0.84,rr4/0.45/0.82);
}
}

void sort(float kt[70],char prime[320],int ny) /*Sıralama alt programı*/
{
    float pn;
    int n,m,k;
    char pr[6];pr[5]='\0';
    for(n=1;n<=ny;n++)
    {
        strncpy(pr,prime+5*(n-1),5);
        pn=atof(pr);kt[n]=pn;
        for(m=1;m<=n;m++)
        {
            if(pn<kt[m])
            {

```

```

        for(k=n;k>m;k--) kt[k]=kt[k-1];
        kt[m]=pn;
        break;
    }
}
}
double srf(double u,double alpha,double ww,int tiy) /*Y(SR)=0 denklemini iterasyonla hesaplayan
altprogram*/

```

```

{
    double srt,x,t,er;
    double z1,a,cu,qu,z2,srp,z,yp,yy;
    srp=0;
    srt=0.01;
    yp=-50;
    yy=1;
    cu=log(2/ww/tiy)+u;
    qu=log(ww*tiy/sqrt(6.283)/alpha)-u;
    while(yy*yy>0.0000000004)
    {
        z1=srt+sqrt(2*(qu-log(srt)));
        z=z1/sqrt(2);
        if(z<0) x=-z;else x=z;
        t=1/(1+0.3275911*x);
        z2=(0.255*t-0.284*t*t+1.421*t*t*t-1.454*t*t*t*t+1.06*t*t*t*t*t)*exp(-x*x);
        if(z<0) z2=2-z2;
        yy=srt*z1-srt*srt/2-cu+log(z2);
        a=(yy-yp)/(srt-srp);
        srp=srt;
        srt=srt-yy/a;
        yp=yy;
    }
    return(srt);
}

```

```

double alpha(float kt[80],int ny)
{
    int i;
    double id,x,z,xm,zm,xsm,zsm;
    xm=0;xsm=0;zm=0;zsm=0;
    for(i=1;i<=ny;i++)
    {
        id=i;
        x=kt[i];
        z=log(-log(id/(ny+1)));
        xm=xm+x;
        xsm=xsm+x*x;
        zm=zm+z;
        zsm=zsm+z*z;
    }
    return(sqrt((zsm-zm*zm/ny)/(xsm-xm*xm/ny)));
}

```

```

double mode(double alpha,float kt[80],int ny)
{
    int i;
    double x,z,xm,zm,id;
    xm=0;zm=0;
    for(i=1;i<=ny;i++)
    {
        id=i;
        x=kt[i];
        z=log(-log(id/(ny+1)));
        xm=xm+x;
        zm=zm+z;
    }

    return((xm-zm/alpha)/ny);
}

```

```

double rlogex(double sr,double rm,double po,double pr)
{
    double rr,du,d1,d2,arg,argc;
    d1=1.0;
    d2=100.0;
    arg=d1-pr/po/d2;
    if(arg<0) arg=0.00005;
    argc=pinv(arg);
    rr=exp(argc*sr)*rm;
    return(rr);
}

```

```

double pinv(double p)
{
    double d1,x,t1,c1,c2,pin;
    d1=1.0;
    x=p;
    if(p<0.5) x=d1-p;
    t1=sqrt(-2*log(d1-x));
    c1=2.515517+0.802853*t1+0.010328*t1*t1;
    c2=1.0+1.432788*t1+0.189269*t1*t1+0.001308*t1*t1*t1;
    pin=t1-c1/c2;
    if(p<0.5) pin=-pin;
    return(pin);
}

```

```

/*apply the FSR method to find mode (ux) with integration time x
from ud with integration time d
double udtoux(double ud,double mar)
{
    double ux,d,x,arg;
    double amr[8],anr[8],br[8];
    int i,n;
    d=1440;x=60;
    amr[0]=600;amr[1]=800;amr[2]=1000;amr[3]=1400;amr[4]=2000;amr[5]=2800;
    amr[6]=4000;amr[7]=10000;anr[0]=0.78;anr[1]=0.75;anr[2]=0.70;anr[3]=0.64;
    anr[4]=0.60;anr[5]=0.54;anr[6]=0.47;anr[7]=0.44;br[0]=15;br[1]=15;br[2]=20;
    br[3]=25;br[4]=30;br[5]=35;br[6]=40;br[7]=45;
    clrscr();
    for(i=0;i<8;i++)
    {
        if(mar<=amr[i])
        {
            arg=(1+br[i]*d/60)/(1+br[i]*x/60);
            ux=ud+anr[i]*log(arg);
            break;
        }
    }
    return(ux);
}

```

2-İlk programda hesaplanan yağmur şiddeti değerlerine karşı gelen zayıflatmaları Leitao-Watson Modeline göre yatay, düşey ve dairesel polarizasyonlar için hesaplayarak bir dosyaya yazan Program

```

#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <stdlib.h>
#include <conio.h>
#include <string.h>
double elev(double ee,double be,double he);
void main()
{
    FILE *dosya1;
    FILE *dosya2;
    FILE *dosya3;
    FILE *rain;
    double A[3][3],g[3][3],hr,el,x[2],y[2],a[2],L,rp[3];

```

```

double to[3],be,ee,alt,ar[3],xr[3],yr[3];
int f,p,i,pol;
char prime[65],stno[23],alti[4],name[11];
char enlem[7],boylam[7],aa1[8],aa2[8],aa3[8];
int H=0,V=1,f10=0,f11=1,f12=2,f14=3,f17=4,f20=5,f24=6,f30=7;

double s[2][8]={
    {0.449,0.562,0.684,0.949,1.39,1.90,2.66,3.92},
    {0.375,0.474,0.578,0.800,1.17,1.58,2.24,3.38}
};

double t[2][8]={
    {-0.634,-0.624,-0.597,-0.537,-0.472,-0.441,-0.414,-0.389},
    {-0.567,-0.559,-0.572,-0.496,-0.447,-0.417,-0.394,-0.375}
};

double u[2][8]={
    {1.587,1.553,1.510,1.429,1.341,1.290,1.237,1.180},
    {1.490,1.466,1.451,1.353,1.277,1.222,1.181,1.134}
};

double v[2][8]={
    {-0.563,-0.553,-0.561,-0.545,-0.553,-0.486,-0.445,-0.410},
    {-0.563,-0.538,-0.531,-0.534,-0.515,-0.444,-0.452,-0.428}
};

double w[2][8]={
    {1.318,1.289,1.277,1.241,1.218,1.162,1.114,1.051},
    {1.287,1.245,1.221,1.192,1.148,1.094,1.075,1.028}
};

clrscr();
dosya1= fopen("atvonemi.dat", "w");
dosya2= fopen("athonemi.dat", "w");
dosya3= fopen("atconemi.dat", "w");
if((rain= fopen("ronemin.dat", "r"))==NULL)
{
    printf("cannot open SOURCE file");
    exit(1);
}
stno[22]='\0';alti[4]='\0';
aa1[8]='\0';aa2[8]='\0';aa3[8]='\0';
while(fgets(prime,sizeof(char)*60,rain)!=NULL)
{
    strncpy(stno,prime,22);
    strncpy(alti,prime+23,5);
    strncpy(aa1,prime+28,6);
    strncpy(aa2,prime+35,7);
    strncpy(aa3,prime+42,7);
    strncpy(enlem,prime,5);
    strncpy(boylam,prime+6,5);

    ee=atof(enlem);
    be=atof(boylam);
    rp[0]=atof(aa1);
    rp[1]=atof(aa2);
    rp[2]=atof(aa3);
    alt=atof(alti);
    f=f14;
    to[0]=0;

```

```

to[2]= M_PI_4;
to[1]= M_PI_2;
f=f14;
hr=(5800-72.6*ee)/1000;
el=elev(ee,be,alt);
L=hr/tan(el);
if(L<0) L=-L;
for(p=0;p<2;p++)
{
    a[p]=s[p][f]/(1+0.01*L);
    x[p]=t[p][f]*log10(L+1)+u[p][f]; /*x=x*/
    y[p]=v[p][f]*log10(L+1)+w[p][f]; /*x=y*/
}
for(pol=0;pol<3;pol++)
{
    ar[pol]=0.5*fabs(a[H]+a[V]+(a[H]-a[V])*cos(el)*cos(el)*cos(2*to[pol]));
    xr[pol]=fabs(a[H]*x[H]+a[V]*x[V]+(a[H]*x[H]-a[V]*x[V])*cos(el)*cos(el)*cos(2*to[pol]))/2/ar[pol];
    yr[pol]=fabs(a[H]*y[H]+a[V]*y[V]+(a[H]*y[H]-a[V]*y[V])*cos(el)*cos(el)*cos(2*to[pol]))/2/ar[pol];
}
for(i=0;i<3;i++)
for(pol=0;pol<3;pol++)
{
    if(rp[i]<20) g[pol][i]=ar[pol]*pow(rp[i]/20,xr[pol]);
    else g[pol][i]=ar[pol]*pow(rp[i]/20,yr[pol]);
    A[pol][i]=g[pol][i]*hr/sin(el);
}

fprintf(dosya1,"%3.3f %3.3f %3.3f %s\n",A[0][0],A[0][1],A[0][2],stno);
fprintf(dosya2,"%3.3f %3.3f %3.3f %s\n",A[1][0],A[1][1],A[1][2],stno);
fprintf(dosya3,"%3.3f %3.3f %3.3f %s\n",A[2][0],A[2][1],A[2][2],stno);
}
}
double elev(double ee,double be,double he)
{
    double d,s,cel,cs,rs;
    double bs=31,es=0;
    rs=(he+6370)/42242; /* rs=(altitude+6370 km)/42242 km */
    ee=ee*M_PI/180;
    es=es*M_PI/180;be=be*M_PI/180;bs=bs*M_PI/180;
    cs=cos(es)*cos(ee)*cos(bs-be)+sin(ee)*sin(es);
    s=acos(cs);
    d=1+rs*rs-2*rs*cs;
    cel=sin(s)/sqrt(d);
    return (acos(cel));
}

```

EK.3 ÖRNEK SONUÇ DOSYASI

14 GHz' de TÜRK SAT (31° doğu), dairesel polarizasyon için hesaplanmış Bir dakikalık zayıflatma değerleri:

AŞILMA OLASILIĞI

% 0.1	% 0.01	% 0.001	Enlem	Boylam	İsim
2.823	11.712	31.652	41.18	29.62	SİLE
3.226	9.815	20.772	41.28	31.42	EREGLİ(K)
3.208	10.971	25.953	41.45	31.80	ZONGULDAK
2.872	8.694	18.039	41.98	33.77	İNEBOLU
2.467	9.083	21.447	42.02	35.17	SİNOP
3.138	9.693	20.197	41.28	36.33	SAMSUN
3.232	9.059	17.962	40.92	38.38	GİRESUN
3.660	9.121	16.193	41.00	39.72	TRABZON
4.074	9.941	17.972	41.03	40.52	RİZE
2.833	8.731	17.898	41.18	41.82	ARTVİN
4.061	9.221	15.622	41.40	41.43	HOPA
3.146	8.915	17.065	41.67	26.57	EDİRNE
2.939	9.463	19.968	41.40	27.35	LULEBURGAZ
2.889	8.938	18.181	41.17	27.80	CORLU
3.377	9.306	17.457	40.98	27.55	TEKİRDAĞ
2.897	8.724	17.523	40.98	28.80	FLORYA
3.714	9.372	16.728	41.25	29.03	KUMKOY
2.608	11.050	30.234	41.17	29.05	SARİYER
3.194	8.756	16.489	40.97	29.08	İSTANBUL
2.939	8.460	16.399	40.90	29.18	KARTAL
2.754	10.056	24.028	40.78	29.93	KOCAELİ
3.392	8.863	16.269	40.78	30.42	ADAPAZARI
2.349	6.813	12.890	40.73	31.52	BOLU
2.464	6.780	12.230	41.37	33.78	KASTAMONU
1.955	6.104	11.828	40.60	33.62	ANKIRI
1.824	5.845	11.498	40.87	35.47	MERZİFON
1.921	6.732	14.411	40.55	34.95	ÇORUM
1.903	6.301	12.866	40.30	36.57	TOKAT
1.974	5.784	10.696	39.75	37.02	SİVAS
1.587	6.000	13.322	39.75	39.50	ERZİNCAN
2.080	6.094	11.337	39.90	41.28	ERZURUM
2.354	6.241	10.892	40.62	43.10	KARS

1.192	4.365	8.938	39.92	44.05	IGDIR
2.002	7.225	16.140	39.72	43.05	AGRI
2.574	10.375	26.370	40.15	26.42	ÇANAKKALE
3.316	10.099	20.823	40.35	27.97	BANDIRMA
3.014	9.223	18.952	40.18	29.07	BURSA
2.585	11.252	32.472	40.12	29.17	ULUDAG
3.141	10.579	23.723	40.65	29.27	YALOVA
2.258	6.355	11.540	40.15	29.98	BİLECİK
1.917	5.941	11.397	39.78	30.52	ESKİŞEHİR
2.106	5.660	9.821	40.13	33.00	ESENBÖĞA
1.878	5.387	9.645	39.95	32.67	ETİMESGUT
2.071	5.981	10.919	39.95	32.88	ANKARA
2.763	7.484	13.567	39.82	34.80	YOZGAT
3.547	8.623	14.822	37.85	27.85	AYDIN
3.408	8.646	15.214	37.92	28.32	NAZILLI
2.987	8.404	15.788	37.78	29.08	DENİZLİ
2.677	7.795	14.649	37.72	30.28	BURDUR
3.161	10.656	23.441	37.77	30.65	ISPARTA
1.510	7.104	18.823	37.87	32.48	KONYA
1.884	5.861	11.156	37.55	34.48	ULUKISLA
2.695	8.744	18.260	37.07	37.38	GAZİANTEP
2.882	9.456	19.738	37.15	38.78	URFA
3.017	7.959	14.132	37.90	40.23	DIYARBAKIR
3.863	11.213	22.328	37.30	40.73	MARDİN
4.022	11.268	21.685	37.05	27.43	BODRUM
4.404	11.216	20.444	37.22	28.37	MUGLA
4.540	12.004	22.147	36.62	29.12	FETHİHYE
5.865	17.988	37.056	36.88	30.70	ANTALYA
2.125	6.446	12.096	37.18	33.22	KARAMAN
4.808	13.726	26.962	36.08	32.83	ANAMUR
3.630	11.984	26.167	36.38	33.93	SİLİFKE
3.773	12.816	28.542	36.80	34.63	MERSİN
3.603	11.671	25.300	37.00	35.33	ADANA
3.929	11.720	24.258	36.85	36.22	DORTYOL
3.621	11.085	23.121	36.58	36.17	İSKENDERUN
3.789	13.426	32.763	36.20	36.17	ATAY
3.779	9.764	17.842	37.03	36.63	SLAHIYE
3.942	10.170	18.453	37.77	38.28	DIYAMAN
3.201	10.308	21.760	41.73	27.23	İRKLARELİ
3.122	8.483	15.381	37.42	29.35	CİPAYAM
2.864	8.215	15.674	38.77	42.50	HLAT
3.809	9.681	17.316	41.02	39.58	KCAABAT
2.066	7.003	14.178	36.72	38.95	KCAKALE
2.893	10.096	23.684	41.08	31.13	KCAKOCA
1.997	5.578	9.814	38.38	34.08	KSARAY
3.854	8.780	14.500	39.05	38.50	RAPKIR
3.388	11.715	27.674	36.55	32.00	LANYA
2.449	7.467	14.507	38.28	31.92	LGIN
3.123	8.011	14.183	38.80	41.50	LPASLAN
3.137	8.923	17.111	41.37	27.15	LPULLU
1.854	7.235	16.965	40.65	35.83	MASYA

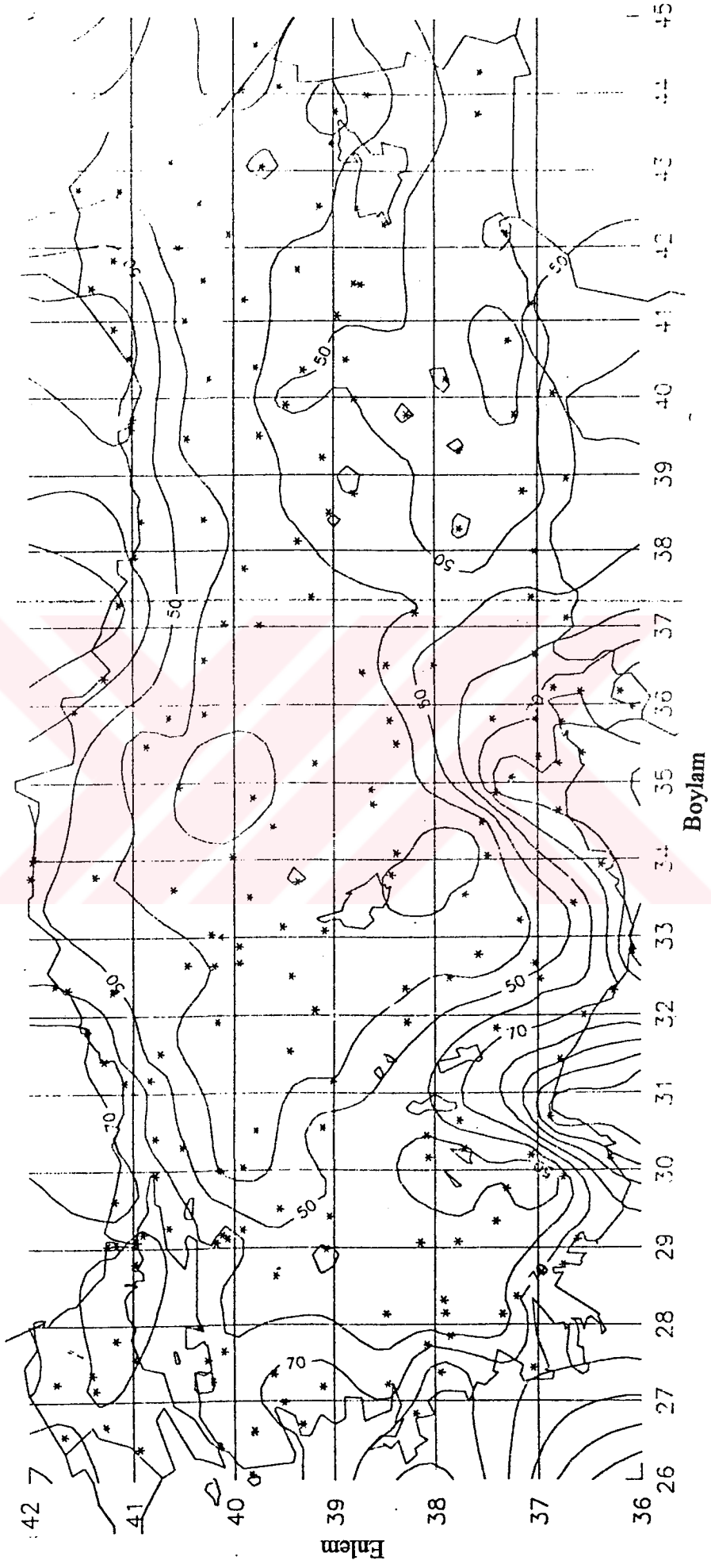
2.383	6.851	12.820	41.12	42.72	ARDAHAN
3.785	11.047	21.815	39.32	26.70	AYVALIK
3.100	9.364	19.154	41.57	35.92	BAFRA
3.242	9.092	17.925	41.17	29.05	BAHCEKOY
2.424	8.273	18.734	41.20	32.30	B. BOSTAN
1.896	5.541	10.042	39.52	33.13	BALA
2.714	9.091	20.509	41.63	32.33	BARTIN
1.908	5.898	11.365	40.25	40.23	BAYBURT
3.509	9.452	17.541	39.80	26.62	BAYRAMIC
3.232	11.917	28.858	39.12	27.18	BERGAMA
1.899	5.870	11.252	40.17	31.92	BEYPAZARI
1.915	6.742	14.396	36.72	31.05	BOLVADIN
3.650	10.967	22.569	40.22	27.25	BIGA
3.418	12.172	28.317	39.50	26.98	URHANIYE
3.063	8.558	16.471	38.88	40.48	ING™L
1.803	5.697	11.036	39.20	35.25	OGAZLIYAN
3.739	10.260	19.272	38.47	27.22	BORNOVA
2.338	10.488	28.587	39.83	26.07	OZCAADA
3.733	9.505	17.458	41.95	34.02	OZKURT
2.294	6.294	11.253	39.92	30.03	OZUYUK
2.184	7.174	14.298	36.85	40.05	. PINAR
3.851	10.160	18.672	37.32	42.18	IZRE
2.057	6.084	11.416	40.23	33.03	UBUK
1.517	5.314	10.831	37.58	32.78	UMRA
3.692	12.039	27.088	36.75	28.78	ALAMAN
1.928	5.900	11.149	38.38	35.50	EVELI
1.319	4.940	10.326	39.78	44.62	IL
2.532	7.419	14.146	38.07	30.17	INAR
1.913	6.036	11.724	39.37	38.12	IVRIGH
1.473	5.715	12.707	39.55	44.08	.BEYAZIT
2.961	8.590	16.624	39.58	28.63	DURSUNBEY
2.853	9.625	21.607	40.83	31.17	DUZCE
3.770	11.133	22.271	39.60	27.35	EDREMIT
1.682	6.741	15.909	38.20	37.18	ELBISTAN
3.052	8.622	16.182	36.75	29.92	ELMALI
1.889	6.621	14.141	39.02	31.15	EMIRDAG
2.427	6.737	12.179	39.03	43.35	ERCIS
1.604	5.490	11.031	37.50	34.05	KONYA
3.705	10.245	19.702	38.28	39.77	ERGANI
4.545	15.185	34.023	36.30	30.15	FINIKE
2.942	8.276	15.753	40.52	30.30	A.FUATPASA
3.651	9.117	15.949	38.02	36.50	GOKSUN
2.065	6.361	12.334	40.47	39.47	GSMŞSHANE
3.248	8.664	15.718	38.15	29.07	GUNEY
3.017	12.775	34.139	36.80	35.25	HACIALI
3.281	9.311	17.828	36.98	32.47	HADIM
3.633	9.018	15.862	37.58	43.73	HAKKARI
2.562	7.757	15.359	39.37	41.70	HINIS
3.140	7.094	11.462	39.12	39.22	HOZAT
3.472	10.252	20.368	40.93	26.40	IPSALA
2.231	6.534	12.318	41.20	32.63	KARABUK

3.890	13.756	32.588	37.27	35.07	KARASALI
1.588	5.532	11.216	37.72	33.55	KARAPINAR
2.370	6.969	13.169	39.37	33.72	KAMAN
4.373	12.986	25.952	36.57	35.38	KARATAS
1.823	6.448	13.793	38.80	38.75	KEBAN
3.185	8.861	16.984	39.92	29.23	KELES
1.862	5.635	10.518	39.85	33.52	KIRIKKALE
2.340	7.296	14.664	40.47	32.65	K. HAMAM
2.869	8.951	18.143	36.72	37.12	KILIS
3.540	10.394	21.588	40.07	29.12	ULUDAG
1.615	5.087	9.587	38.43	33.80	KOCAS
2.432	6.555	11.448	38.30	32.35	KONUKLAR
4.010	10.643	19.798	37.45	35.82	KOZAN
4.178	11.069	20.780	36.97	28.68	KOYCEYIZ
2.158	6.201	11.310	39.15	42.53	MALAZGIRIT
3.777	13.636	33.815	36.78	31.43	MANAVGAT
3.117	8.238	15.119	38.73	41.48	MUS
2.863	8.669	16.913	36.65	33.43	MUT
2.150	5.683	9.727	38.62	34.72	NEVSEHIR
2.703	8.231	16.160	37.07	41.22	NUSAYBIN
1.553	6.004	13.586	40.55	41.98	OLTU
2.974	9.106	19.216	40.98	37.90	ORDU
1.613	5.798	12.380	38.67	43.98	OZALP
3.260	8.222	14.280	38.80	39.97	PALU
4.457	10.585	18.555	41.18	40.88	PAZAR
2.169	5.971	10.587	38.72	36.40	PINARBASI
1.168	5.806	15.802	39.20	32.07	POLATLI
2.139	6.291	11.921	41.52	42.73	POSO
3.230	13.136	34.449	37.42	34.87	POZATLI
3.061	8.176	14.675	38.48	28.13	SALIHLI
4.282	11.705	22.321	36.08	35.97	SAMANDAG
2.192	6.489	12.413	40.33	42.57	SARIKAMIS
2.291	13.516	49.753	37.95	27.37	SELCUK
3.782	10.128	19.053	39.08	28.98	SIMAV
3.183	8.053	13.999	37.77	39.32	SIVEREK
1.922	6.605	13.826	39.45	31.53	SIVRIHISAR
3.184	8.286	14.874	38.97	41.07	SOLHAN
4.126	10.704	19.395	37.42	31.83	SEYDISEHIR
2.352	7.332	14.752	40.30	38.42	KARAHISAR
3.126	10.893	24.521	40.27	27.53	TAHIROVA
3.180	8.226	14.795	38.50	42.30	TATVAN
2.646	7.615	14.279	39.55	29.50	TAVSANLI
3.133	8.664	16.141	37.32	29.77	TEFENNI
1.984	6.341	12.594	39.78	40.38	TERCAN
4.167	10.986	20.215	38.08	27.73	TIRE
1.967	6.129	11.854	38.45	35.80	TOMARZA
2.041	6.304	12.248	40.30	41.55	TORTUM
2.175	6.594	12.708	40.02	34.03	TOSYA
3.126	9.199	18.657	39.12	30.55	TUNCELI
1.421	5.583	12.642	40.10	37.03	ULAS
3.739	9.938	18.348	41.27	26.68	UZUNKOPRU

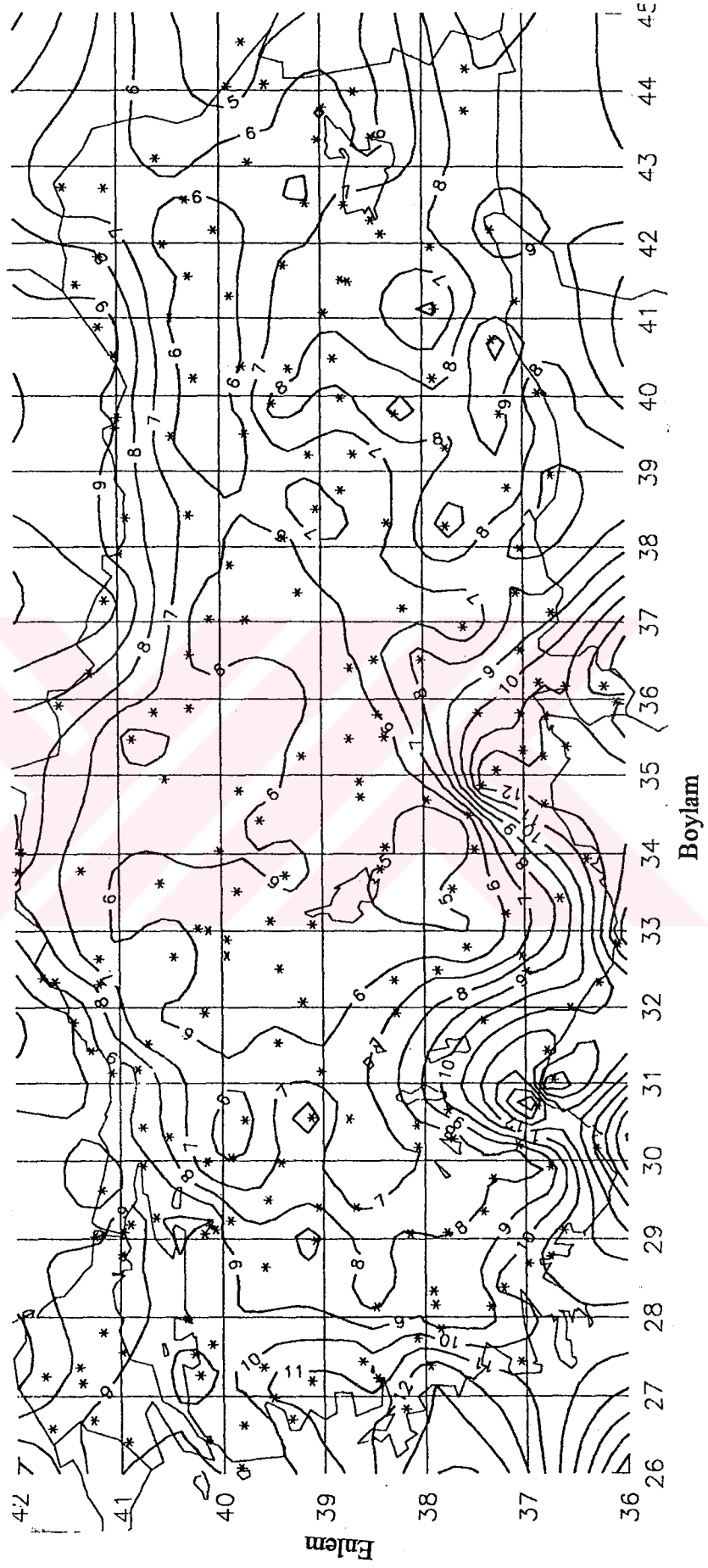
2.830	11.231	29.854	41.13	37.28	UNYE
2.499	10.053	24.886	37.23	39.77	VIRANSEHIR
3.364	9.515	18.354	37.57	44.28	YUKSEKOVA
2.385	6.385	11.312	39.90	37.75	ZARA
2.322	6.334	11.269	40.30	35.88	ZILE
2.129	6.841	13.511	37.03	37.98	BIRECIK
4.122	13.015	27.651	36.77	35.78	YUMURTALIK
2.080	6.005	11.079	39.23	37.38	KANGAL
3.400	8.258	14.364	39.32	40.35	KIGI
2.616	8.463	17.230	37.07	30.20	KORKUTELI
2.285	7.695	16.340	38.98	43.77	MURADIYE
3.518	8.266	13.856	38.08	30.45	ULUBORLU
1.987	5.624	10.064	40.05	42.17	HORASAN
3.100	8.998	17.811	39.48	39.90	PULUMUR
2.438	7.332	14.225	38.48	36.50	SARIZ
2.007	5.885	10.799	39.10	33.08	KULU
1.900	5.875	11.146	39.62	34.42	CICEKDAGI
3.324	9.393	18.001	37.90	28.15	S.HISAR
3.870	10.849	21.096	36.27	32.32	GAZIPASA
3.828	13.038	28.652	38.20	26.83	S. HISAR
1.919	6.059	11.965	40.48	41.00	ISPIR
1.490	7.486	22.814	37.03	32.67	ALADAG
2.074	5.809	10.312	38.63	34.92	URGUP
2.610	8.496	18.076	39.05	29.40	GEDIZ
3.776	11.141	22.270	37.03	35.82	CEYHAN
3.426	8.644	15.211	37.35	28.13	YATAGAN
1.672	6.119	13.255	39.43	32.50	HAYMANAZAR
3.211	9.571	19.275	40.10	27.65	GONEN
3.899	9.496	16.615	41.75	32.38	AMASRA
2.849	7.641	13.897	39.42	29.97	KSTAHYA
1.956	6.331	12.587	37.60	36.93	K.MARAS
3.476	8.508	15.038	38.40	42.12	BITLİS
0.876	5.837	22.564	38.50	43.38	VAN
4.217	11.768	22.547	38.62	27.43	MANİSA
2.741	7.180	12.678	38.68	29.40	USAK
1.394	6.384	16.745	38.75	30.53	AFYON
2.080	5.936	10.748	38.73	35.48	KAYSERİ
2.641	7.086	12.488	38.35	38.32	MALATYA
2.196	6.387	11.836	38.68	39.23	ELAZIG
0.908	6.142	24.378	37.88	41.12	BATMAN
3.070	8.238	15.169	37.92	41.95	SİİRT
4.020	11.503	22.393	38.43	27.17	İZMİR
1.641	5.385	10.565	37.97	34.68	NİĞDE
3.481	9.098	16.844	38.88	40.48	BİNGÖL
3.293	8.407	15.017	38.73	41.48	MUS

EK.4 YAĞIŞ ŞİDDETİ VE ZAYIFLATMA HARİTALARI

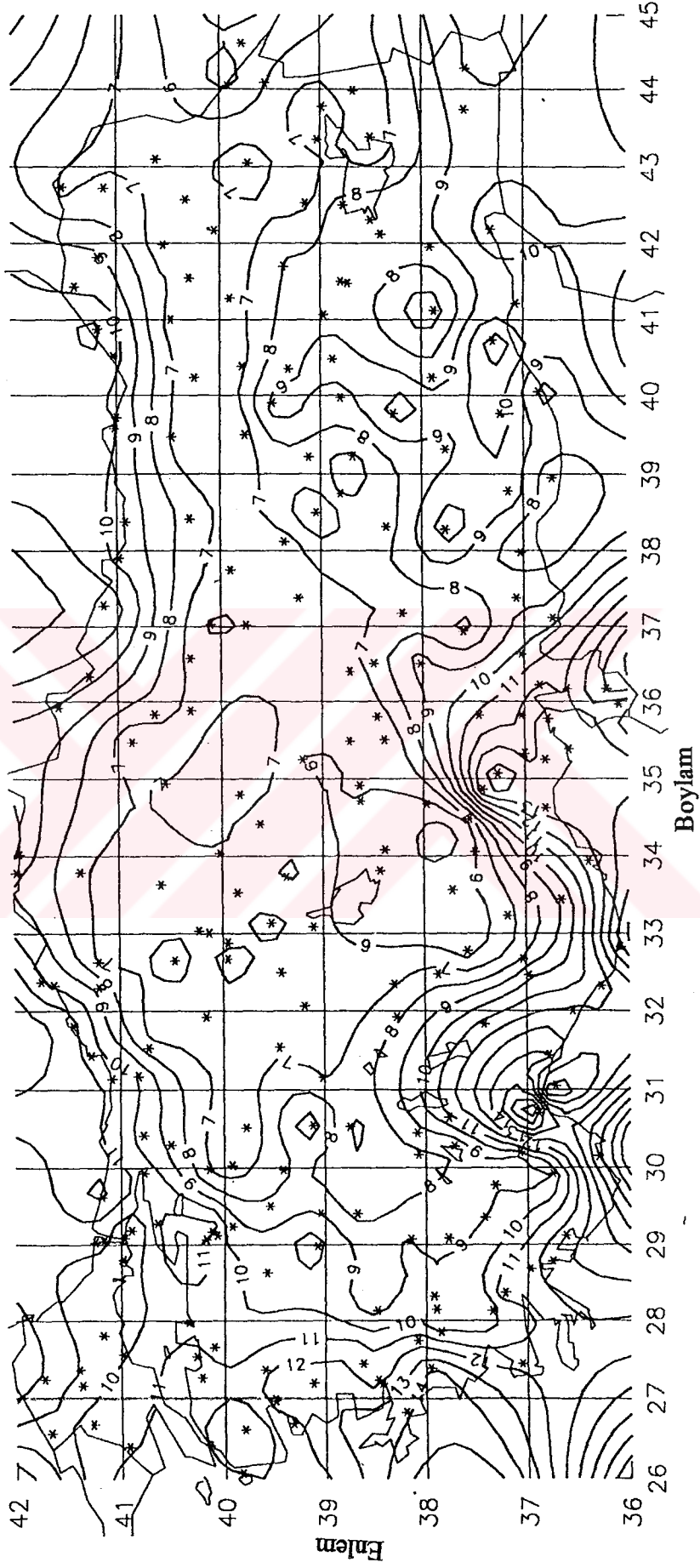
Yılın % 0.01'inde aşılın 1 dakikalık yağmur şiddetleri



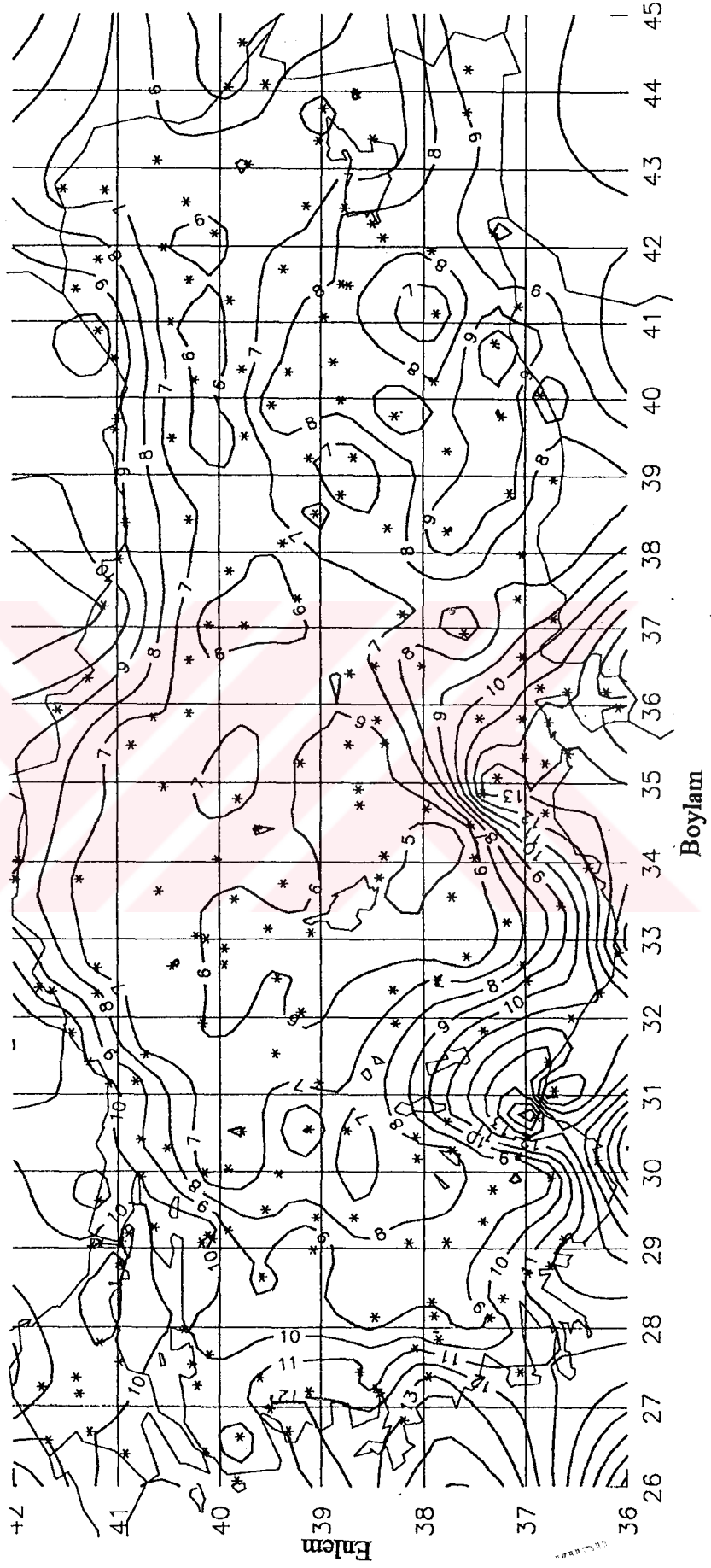
TÜRKSAT Uydusu için yılın % 0.01'inde aşılın 1 dakikalık zayıflatma değerleri (Yatay Polarizasyon)



TÜRKSAT Uydusu için yılın % 0.01'inde aşlan 1 dakikalık zayıflatma değerleri (Dikey Polarizasyon)



TÜRKSAT Uydusu için yılın % 0.01'inde aşılın 1 dakikalık zayıflatma değerleri (Dairesel Polarizasyon)



ÖZGEÇMİŞ

Kamil Dimililer, 1968 yılında Kıbrısta Doğdu. İlk orta ve Lise eğitimini Kıbrıs'ta tamamladıktan sonra 1986 yılında Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nde Yüksek öğrenime başladı. 1991 yılında YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Haberleşme Bilim Dalı yüksek lisans programına girdi. Halen, Y.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nde F.B.E.'ne bağlı araştırma görevlisidir.

